

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Nikola Blažević**

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

Mentor:  
prof. dr. sc. Damir Ciglar

Student:  
Nikola Blažević

Zagreb, 2013.

## **Izjava**

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno, služeći se znanjem stečenim na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, te također uz pomoć stručne literature korištene prilikom izrade rada, koja je navedena u popisu literature.

Također ovime koristim priliku da izrazim zahvalnost mentoru prof. dr. sc. Damiru Ciglaru na stručnoj i profesionalnoj pomoći prilikom izrade završnog rada.

Nikola Blažević

U Zagrebu, rujan 2013.

# SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	I
POPIS TABLICA.....	II
POPIS OZNAKA.....	III
SAŽETAK .....	VIII
1. UVOD .....	1
2. POSTUPAK GLODANJA I IZVEDBE GLODALICA .....	3
2.1. Horizontalne glodalice .....	4
2.2. Vertikalne glodalice .....	5
2.3. Univerzalne glodalice .....	5
2.4. NC/CNC upravljanje .....	6
3. GLODAĆI OBRADNI CENTRI .....	7
3.1. Automatska izmjena alata (AIA) .....	8
3.2. Mogućnosti i usporedba troosne i petoosne obrade .....	9
4. GLAVNI PRIGON NU-STROJEVA .....	12
4.1. Osnovni dijelovi glavnog prigona .....	13
4.1.1. Pogonski motori .....	13
4.1.2. Glavno vreteno.....	15
4.1.3. Sustav za prihvat i stezanje alata.....	15
4.1.4. Kućišta glavnog vretena.....	15
4.2. Elektromehanički glavni prigon.....	16
4.2.1. Klasični elektromehanički prigon.....	16
4.2.2. Direktni glavni prigon s remenskim prijenosom.....	17
4.3. Motorvreteno .....	18
5. PRORAČUN GLAVNOG PRIGONA.....	19
5.1. Ulazni podaci.....	19
5.2. Izbor alata i parametri.....	20
5.3. Izbor pogonskog elektromotora .....	27
5.4. Proračun remenskog prijenosa.....	28
5.5. Glavno vreteno .....	31
5.6. Izbor ležajeva glavnog vretena.....	33
5.6.1. Izbor ležaja u osloncu A .....	35
5.6.2. Izbor ležaja u osloncu B .....	37

5.7. Izbor držača reznog alata .....	39
5.8. Sustav za stezanje alata.....	41
6. ZAKLJUČAK.....	42
7. LITERATURA .....	43

## POPIS SLIKA

Slika 1. Koordinatne osi horizontalne glodalice .....	4
Slika 2. Koordinatne osi vertikalne glodalice.....	5
Slika 3. Vertikalna portalna glodalica.....	5
Slika 4. CNC alatni stroj.....	6
Slika 5. Glodači obradni centar.....	7
Slika 6. Lančano spremište alata.....	9
Slika 7. Putanja alata kod troosne obrade .....	10
Slika 8. Putanja alata kod petoosne obrade .....	10
Slika 9. Petoosna obrada.....	11
Slika 10. Prikaz uobičajenih izvedbi glavnog prigona .....	12
Slika 11. Karakteristika AC i DC elektromotora .....	14
Slika 12. Klasični elektromehanički prigon .....	16
Slika 13. Direktni glavni prigon s remenskim prijenosom.....	17
Slika 14. Motorvreteno.....	18
Slika 15. Asinkroni elektromotor .....	27
Slika 16. Pojednostavljeni prikaz glavnog vretena.....	32
Slika 17. Raspored sila na vratilu .....	34
Slika 18. Držač alata ISO Coromant Capto Basic.....	39
Slika 19. Adapter za glodalo.....	40
Slika 20. Vijak za držač alata.....	40
Slika 21. Sustav za stezanje alata.....	41

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Oznake materijala obratka .....	20
Tablica 2. Dimenzije glodala CoroMill 200.....	21
Tablica 3. Oznaka rezne pločice CoroMill 200.....	21
Tablica 4. Izrazi za maksimalnu debljinu odvojene čestice.....	22
Tablica 5. Potrebni parametri za rezu pločicu RCKT1204M0-PM 4230.....	22
Tablica 6. Izbor parametara za materijal obratka i prema reznom materijalu .....	23
Tablica 7. Dimenzije glodala CoroMill 390.....	24
Tablica 8. Oznaka rezne pločice CoroMill 390.....	25
Tablica 9. Izbor parametara za materijal obratka i prema reznom materijalu .....	26
Tablica 10. Približna ovisnost promjera vretena u prednjem ležaju od snage stroja .	32
Tablica 11. Izbor faktora prepusta glave.....	32
Tablica 12. Značajke ležaja A (FAG katalog).....	35
Tablica 13. Značajke ležaja B (FAG katalog).....	38
Tablica 14. Dimenzije držača alata .....	40

**POPIS OZNAKA**

NC	Numeričko upravljanje (Numerical Control)
SHIP	Sredstvo za hlađenje, ispiranje i podmazivanje
AIA	Automatska izmjena alata
GOC	Glodači obradni centar
ISO	Međunarodna organizacija za standarde (International organization for Standardization)
HSK	Vrsta izvedbe držača alata (Hollow Shank Tooling)
DC	Istosmjerna struja (Direct current)
AC	Izmjenična struja (Alternating current)
CVD	Kemijsko taloženje iz parne faze (Chemical Vapor Deposition)
X, Y, Z	Translacijske osi stroja
A, B, C	Rotacijske osi stroja
P [kW]	Snaga
M [Nm]	Moment
n [min <sup>-1</sup> ]	Učestalost vrtnje
$\eta$	Stupanj iskoristivosti
DF X	Par ležajeva ugrađen u "Face to Face" poretku
DB O	Par ležajeva ugrađen u "Back to Back" poretku
DT	Par ležajeva ugrađen u tandem poretku
$R_e$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Granica razvlačenja
$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Vlačna čvrstoća
HB	Tvrdoća po Brinell-u (Brinell Hardness)



$D_c$ [mm]	Promjer reznog alata
$D_3$ [mm]	Maksimalni promjer glodala
$z_n$	Broj reznih pločica na alatu
$\kappa_r$ [°]	Napadni kut
$a_{pmax}$ [mm]	Maksimalna zauzeta dubina rezanja
$n_{max}$ [min <sup>-1</sup> ]	Maksimalna učestalost vrtnje
$iC$ [mm]	Promjer okruglih reznih pločica ili promjer dosjeda kod ravnih pločica
$l$ [mm]	Duljina rezne oštrice
$r_\varepsilon$ [mm]	Polumjer zaobljenosti vrha rezne pločice
$s$ [mm]	Debljina rezne pločice
$b_s$ [mm]	Dužina dijela rezne pločice paralelna sa smjerom obrade
$h_{ex}$ [mm]	Maksimalna debljina odvojene čestice
$f_z$ [mm]	Posmak po zubu
$v_c$ [m/min]	Brzina rezanja
$v_f$ [mm/min]	Posmična brzina rezanja
$z_c$	Broj efektivnih zubi kod glodanja
$K_c$ [N/mm]	Specifična sila rezanja
$k_{c1}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Specifična sila rezanja zavisna o materijalu obrade
$h_m$ [mm]	Prosječna debljina odvojene čestice
$mc$	Faktor korekcije za stvarnu debljinu odvojene čestice
$a_e$ [mm]	Radijalna širina obrade
$P_c$ [kW]	Snaga rezanja
$F_c$ [N]	Glavna sila rezanja

$F_f$ [N]	Posmična sila rezanja
$F_p$ [N]	Natražna sila rezanja
$M_c$ [Nm]	Moment rezanja
$P_M$ [kW]	Potrebna snaga elektromotora
$\eta_s$	Mehanički stupanj djelovanja
$P_{NM}$ [kW]	Nazivna snaga elektromotora
$M_M$ [Nm]	Nazivni moment elektromotora
$n_N$ [min <sup>-1</sup> ]	Nazivni broj okretaja elektromotora
$z$	Broj remena
$z'$	Broj remenica
$d_1$ [mm]	Aktivni promjer male remenice
$d_2$ [mm]	Aktivni promjer velike remenice
$i$	Prijenosni omjer
$a'$ [mm]	Osni razmak
$L'$ [mm]	Aktivna duljina remena
$L_i$ [mm]	Unutarnja duljina remena
$L_d$ [mm]	Vanjska duljina remena
$v_1$ [m/s]	Brzina remena
$P_N$ [kW]	Nominalna snaga jednog remena
$f_B$ [s <sup>-1</sup> ]	Učestalost savijanja remena
$f_{Bdop}$ [s <sup>-1</sup> ]	Dopuštena učestalost savijanja remena
$x$ [mm]	Potreban pomak za natezanje remena
$y$ [mm]	Potreban pomak za montažu remena

$F_o$ [N]	Obodna sila na remenici
$F_v$ [N]	Sila remenice koja opterećuje vratilo
$D_A$ [mm]	Promjer glavnog vretena kod prednjeg ležaja
$D_B$ [mm]	Promjer glavnog vretena kod stražnjeg ležaja
$D_a$ [mm]	Promjer prednjeg dijela glavnog vretena
$D_b$ [mm]	Promjer središnjeg dijela glavnog vretena
$a$ [mm]	Prepust prednjeg dijela glavnog vretena
$b$ [mm]	Razmak između prednjeg i stražnjeg ležaja
$d$ [mm]	Promjer provrta glavnog vretena
$b_g$ [mm]	Širina glavine glavnog vretena
$K_a$	Faktor prepusta glave glavnog vretena
$K_b$	Faktor raspona ležajeva glavnog vretena
$F_{csr}$ [N]	Sila rezanja uvećana za 20%
$F_R$ [N]	Rezultantna sila na glavi glavnog vretena
$F_A$ [N]	Sila na ležajnom mjestu "A"
$F_B$ [N]	Sila na ležajnom mjestu "B"
$C_0$ [kN]	Statička nosivost ležaja
$C$ [kN]	Dinamička nosivost ležaja
$f_0$	Faktor veličine unutarnjeg promjera ležaja
$F_a$ [N]	Aksijalna sila na glavno vreteno
$e$	Faktor ovisan o dodirnom kutu ležaja
$P$ [kN]	Dinamičko opterećenje ležaja
$P_0$ [kN]	Statičko opterećenje ležaja

---

$\alpha_L$ [°]	Dodirni kut ležaja
$f_S$	Faktor statičke karakteristike
$f_n$	Faktor broja okretaja
$f_L$	Faktor vijeka trajanja
$L_h$ [h]	Vrijeme trajanja ležaja
$C_1$ [kN]	Dinamičko opterećenje na nosivi ležaj
$R$ [N]	Radijalna sila na ležaj
$d$ [mm]	Unutarnji promjer vretena
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Gustoća materijala
$b_{rem}$ [mm]	Širina remenice

## SAŽETAK

Za uspješno projektiranje i konstrukciju alatnih strojeva potrebno je poznavati izvedbe i mogućnosti istih te pripadajuće dijelove koji zajedno čine funkcionalan stroj. U projektiranju i proizvodnji alatnih strojeva postavljaju se visoki zahtjevi za kvalitetom obrade, točnosti i pouzdanosti. Dio alatnog stroja koji najviše utječe na kvalitetu i točnost obrade je glavni prigon alatnog stroja, koji osigurava glavno gibanje. Ako modul za prihvat reznog alata na obradni sustav nije adekvatno izveden, može doći do poremećaja procesa obrade, a shodno tome i do pojave vibracija pa čak i do loma oštrice alata. Zbog toga cijeli sustav za prihvat reznog alata mora imati visoku krutost jer jedino tako kvaliteta i učinkovitost alata mogu doći do izražaja.

U prvom dijelu rada opisan je ukratko postupak glodanja i različite izvedbe klasičnih alatnih strojeva za glodanje. Opisani su i glodači centri s njihovim osnovnim elementima i razlozima zašto su glodači centri važni u primjeni današnje proizvodnje. Ukratko su opisane mogućnosti troosne obrade te mogućnosti i prednosti petoosne obrade naspram troosne te isto tako i njezini nedostaci.

Prikazane su izvedbe glavnog prigona alatnih strojeva, te opisani najvažniji pripadajući elementi istog.

U završnom poglavlju rada izvršen je proračun elemenata glavnog prigona vertikalnog obradnog centra, sa pripadajućim ulaznim parametrima.

S obzirom na ulazne parametre i zahtjeve obrade izvršena je usporedba dviju različitih reznih pločica te s obzirom na proračunate vrijednosti sila i momenata odabran je potrební elektromotor.

Također proračunom su obuhvaćeni svi potrebni elementi glavnog prigona vertikalnog obradnog centra, koji uključuju izbor remena i pripadajućih remenica, glavnog vretena s pripadajućim uležištenjem, te izbor prihvatnog i steznog dijela glavnog prigona vertikalnog obradnog centra.

## 1. UVOD

Čovjek od postanka u cilju zadovoljenja svojih sve većih potreba iskorištava prirodne resurse (sirovine i energiju), razvija proizvodne tehnologije, a u novije vrijeme i informacijske. U nastojanju da poboljša uvjete življenja otkriva nove tehničko-tehnološke i druge spoznaje i usavršava već postojeće što vodi znanstveno-tehnološkom napretku, znajući pri tome da ni jedno tehničko ili tehnološko rješenje nije danas toliko dobro, da već sutra ne može biti još bolje. Ovo je omogućilo razvoj i stvaranje proizvoda što je utjecalo na razvoj postupaka obrade, tehnologija i tehnoloških procesa, odnosno obradnih sustava i alata.

Prvi razvoj obradnih strojeva pojavljuje se 1717. godine u Velikoj Britaniji. Početak razvoja modernih proizvodnih strojeva počinje 1947. Godine u SAD-u, kada je čovjek prvi put u povijesti upravljao numeričkim strojem, do osamdesetih godina ovog stoljeća kada nastaju moderni inteligentni japanski proizvodni sistemi i tvornice bez ljudi [1].

Industrijska proizvodnja donosi kapital i njen razvoj je uzrokovao naglo jačanje i razvoj, kako obradnih sustava, tako i jednog od najraširenijih i najzastupljenijih postupaka obrade dijelova, obrade odvajanjem čestica. Obrada odvajanjem čestica sastoji se od niza različitih postupaka kod kojih se od početnog volumena sirovog materijala odvaja tj. odstranjuje određena količina materijala u obliku odvojenih čestica, a sve u svrhu izrade odnosno formiranja gotovog konačnog izratka. U postupku formiranja izratka i proizvodnom sustavu najznačajniji čimbenici su materijal obratka, rezni alat i obradni stroj ili sustav.

Prije su se obradni strojevi specijalizirali u pojedinačnim procesima: tokarenje, glodanje, bušenje itd., dok jedan od prisutnih trendova razvoja ide u smjeru integriranja sve više različitih obradnih procesa u jednom stroju, odnosno sustavu. Današnji obradni centri, bilo tokarski ili glodači, imaju koncentraciju različitih operacija obrade u jednom stezanju, tj. mogu obrađivati obradak s više strana, a cilj je potpuna obrada izradka na jednom obradnom sustavu i u jednom stezanju. Drugi trend razvoja suvremenih obradnih sustava je prema visokobrzinskim i visokodinamičkim obradnim sustavima. Njihova osnovna karakteristika je da su projektirani modularno, tako da u obradi i izvan nje omogućuju ostvarivanje znatno većih brzina glavnih i pomoćnih gibanja [2].

U projektiranju i proizvodnji alatnih strojeva postavljaju se visoki zahtjevi za kvalitetom obrade, točnosti i pouzdanosti. Težnja i cilj kod projektiranja suvremenog obradnog sustava trebao bi biti reduciranje njegove složenosti tako da sustav bude robustan i pouzdan i da u što dužem vremenskom razdoblju osigurava stabilnost obrade uz minimalne troškove.

Kako je glavni prigon alatnog stroja centralni modul koji utječe na tehnologiju i mogućnosti izrade određenih proizvoda, izvršit će se proračun sila rezanja te prema njima proračun osnovnih dijelova glavnog prigona. Prigon glavnog gibanja treba udovoljiti visokim zahtjevima krutosti, te je stoga potrebno pravilno dimenzionirati glavno vreteno i pripadajuće osnovne dijelove kako bi stroj mogao izraditi proizvode koji imaju visoku dimenzijsku točnost [2].

## 2. POSTUPAK GLODANJA I IZVEDBE GLODALICA

Glodanje je postupak obrade odvajanjem čestica (rezanjem) obradnih površina proizvoljnih oblika. Izvodi se na alatnim strojevima, glodalicama, pri čemu je glavno (rezo) gibanje kružno kontinuirano i ostvaruje ga alat stegnut u radno vreteno. Posmično gibanje je kontinuirano, proizvoljnog oblika i smjera i pridruženo je (najčešće) obratku. Os okretanja glavnog gibanja zadržava svoj položaj prema alatu bez obzira na smjer brzine posmičnog gibanja [3].

Pomoćna gibanja ostvaruje obradak i/ili alat (ovisno o konstrukciji) i ona su translacijska (klasične glodalice) i rotacijska (stolovi). Zbog toga je i obrada glodanjem složenija (geometrija alata) i zahtjevnija (upravljanje).

Alat za glodanje je glodalo definirane geometrije reznog dijela, s više glavnih reznih oštrica koje se nalaze na zubima glodala. Rezne oštrice periodično ulaze u zahvat s obratkom i izlaze iz njega tako da im je dinamičko opterećenje jedno od osnovnih obilježja. Istodobno je u zahvatu s obratkom samo nekoliko reznih oštrica [3].

Opća podjela obrada glodanjem može se svesti na tri osnovna tipa:

- Obodno glodanje,
- Čeono glodanje,
- Kombinirano glodanje.

Osnovne operacije koje se mogu izvesti na glodalicama ovisno o korištenim alatima su:

- Obrada ravnih površina (valjkasta, čeona glodala),
- Kanali i žlijebovi različitih oblika (pločasta, vretenasta glodala),
- Profili složene geometrije (profilno glodalo),
- Zupčanici (modulna glodala).



Osnovna podjela glodalica prema položaju radnog vretena može se svesti na:

- Horizontalne – uzdužna, kombinirana bušilica – glodalica,
- Vertikalne – portalna – gantry,
- Kombinirane – horizontalno/vertikalne.

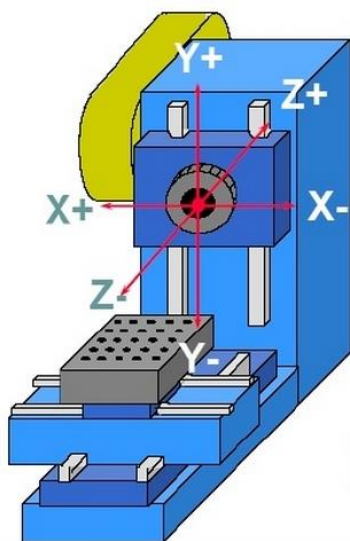
Prema načinu upravljanja:

- Klasične glodalice,
- Kopirne,
- NC/CNC.

## 2.1. Horizontalne glodalice

Služe za obradu obodnim glodanjem (istosmjernim ili protusmjernim). Glodalo se upinje u horizontalno (vodoravno) vratilo i obavlja glavno gibanje. Obradak je stegnut na radnom stolu koji obavlja posmično gibanje.

Osnovni dijelovi ovog alatnog stroja su glavno vreteno s konzolom, radni stol s uzdužnim i poprečnim klizačima. Glavno okretno gibanje izvodi glavno vreteno s glodalom, dobivajući pogon od elektromotora preko prijenosnika za glavno gibanje. Radni stol izvodi pomoćno pravocrtno gibanje uzdužno i poprečno, dobivajući pogon od posebnog elektromotora i prijenosnika za pomoćno gibanje [4].

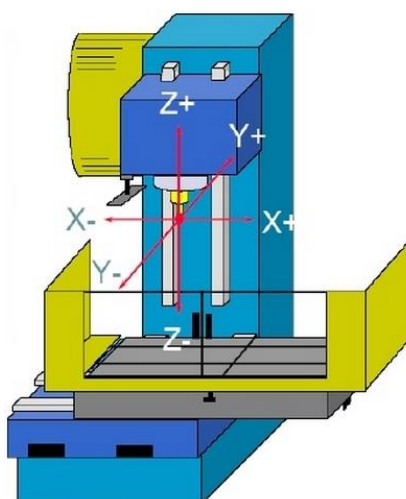


Slika 1. Koordinatne osi horizontalne glodalice [1]

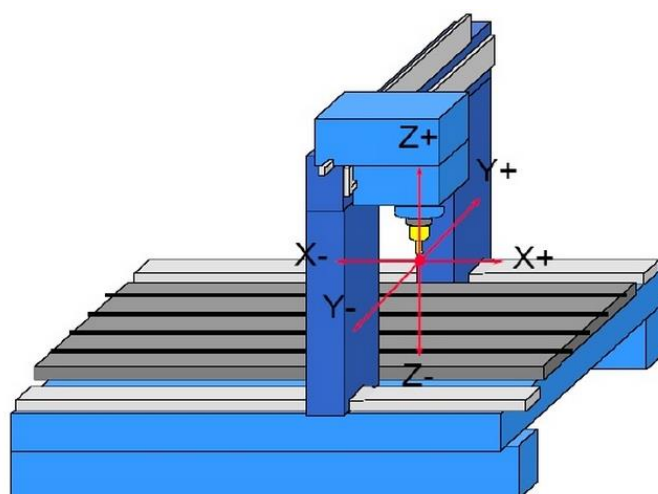
## 2.2. Vertikalne glodalice

Vertikalna izvedba glodalice znači da je os glavnog vretena vertikalna.

Na vertikalnim glodalicama obrada se vrši uglavnom čeonim i vretenastim glodalima. Ostali elementi kod horizontalnih glodalica postoje i kod vertikalne izvedbe osim položaja glavnog vretena [4].



Slika 2. Koordinatne osi vertikalne glodalice [1]



Slika 3. Vertikalna portalna glodalica [1]

## 2.3. Univerzalne glodalice

Osnovna karakteristika univerzalne u odnosu na horizontalnu glodalicu je mogućnost izrade zupčanika i spirala zahvaljujući uporabi diobenog aparata.

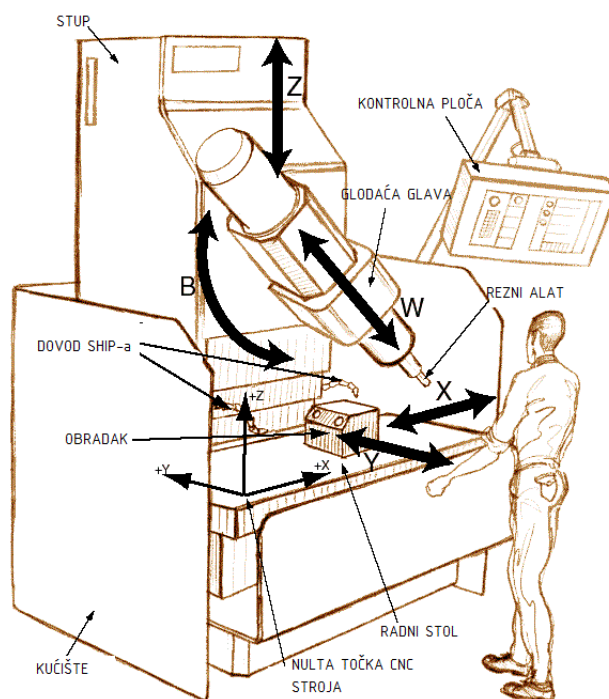
Upravo ostvarivanje istodobnog pravocrtnog i kružnog gibanja obratka svrstava ove glodalice u posebnu grupu tzv. univerzalnih glodalica. Pored ove mogućnosti obrade univerzalnost ove glodalice očituje se i u mogućnosti postavljanja vertikalnog vretena (vertikalna glodalica), kao i pristroja s nožem za dubljenje (vertikalna dubilica) [1].

## 2.4. NC/CNC upravljanje

Sustav numeričkog upravljanja obradnog stroja omogućava gibanje njegovih osi kao i niz drugih funkcija stroja (upravljanje glavnim pogonom - glavnim vretenom, izmjenu alata, regulaciju SHIP sustava,...) primjenom numeričkih podataka - programiranih instrukcija. Upravljanje se izvodi primjenom mikroračunala i software-ske podrške [2].

U NC sustavu program se učitava u upravljačku jedinicu vanjskim medijem, te se zatim provodi obrada predmeta pri čemu se ne može mijenjati program na samom stroju. Sve potrebne izmjene moraju se obaviti izvan stroja pa ponovno učitati program u upravljačku jedinicu.

U CNC sustavu mikroprocesor omogućava izmjenu programa na samom stroju, također je moguće provoditi i određene izmjene i tijekom obrade predmeta. To omogućuje veliku fleksibilnost u radu, uštedu u vremenu zbog čega su CNC strojevi uvelike rašireni u današnje vrijeme.



Slika 4. CNC alatni stroj

### 3. GLODAĆI OBRADNI CENTRI

Obradni centri su numerički upravljani alatni strojevi sa automatskom izmjenom alata (AIA), koje omogućuju kompletnu obradu složenih proizvoda. Postoji više vrsta izvedbi obradnih centara, a osnovna podjela im je ovisno o položaju glavnog vretena, te se dijele na horizontalne, vertikalne te horizontalno-vertikalne obradne centre. Sve operacije na obradnom centru, gibanje alata i stola, izmjena alata, promjena režima obrade, odvijaju se automatski pomoću numeričkog programa unesenog u upravljačku jedinicu stroja. Osnovna obilježja su visok stupanj automatizacije, automatska izmjena alata i često poluautomatska izmjena radnog predmeta. Pripremno - pomoćna vremena se smanjuju, i broj stezanja te vrijeme transporta [2].

Obradni centar je prvi korak razvoja fleksibilne automatizacije, sa sljedećim osnovnim karakteristikama:

Koncentracija operacija u jednom centriranju i stezanju obratka omogućuje obrađivanje četiri, odnosno pet stranica obratka prizmatičnog oblika. Šesta stranica je baza i služi za oslanjanje. Obradom u jednom stezanju znatno se povećava međudimenzijska točnost. Koncentraciju operacija omogućuje automatska izmjena i skladište alata i pribora. Izmjena alata ne ovisi o volji poslužitelja i traje od dvije do pet sekundi. Skladište alata može biti iznad stroja, sa strane jednostrano ili obostrano, te pored stroja [5].



Slika 5. Glodaći obradni centar

### 3.1. Automatska izmjena alata (AIA)

Automatska izmjena alata se odnosi na izmjenu pojedinačnih alata između spremišta alata i glavnog vretena (za alate) i obrnuto [6].

Automatskom izmjenom alata (AIA) postiže se [5]:

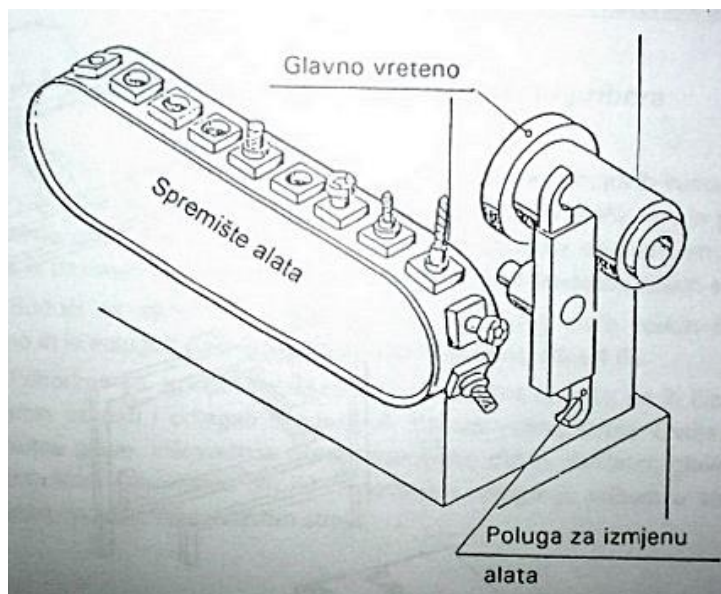
- koncentracija operacija, koje se mogu obaviti u jednom stezanju obratka,
- skraćanje pomoćnog vremena obrade,
- automatizirani rad alatnog stroja,
- fleksibilnost alatnog stroja.

Automatska izmjena alata odnosi se na izmjenu pojedinačnih alata u glavnom vretenu. Osnovne pretpostavke su:

- adekvatni držači alata,
- kodiranje alata,
- prednamještanje alata,
- adekvatni prihvat za polugu izmjenjivača alata,
- adekvatno stezanje alata,
- manipulator za izmjenu alata,
- spremnik alata i pomoćno spremište alata,
- automatsko stezanje držača alata u glavnom vretenu,
- detekcija loma i istrošenje rezne oštrice alata,
- numeričko upravljanje alatnim strojem.

Ako su alati smješteni u skladište alata po redoslijedu korištenja, automatska izmjena alata obavlja se po redoslijedu operacija. Ako su alati smješteni nasumice jednim okretom skladišta alata, ili jednim prolazom čitača pored IC chipa, senzori očitaju položaj i oznaku svih alata i unose ih u upravljačku jedinicu. Alati se dalje koriste prema programu automatski [5].

Obradni centar može imati nekoliko glavnih skladišta alata, kao i pomoćno skladište alata. Pomoćno skladište alata sadrži alate za proširivanje broja operacija ili duplikate alata, zbog automatske zamjene korištenog ili istrošenog alata u glavnom skladištu alata.



Slika 6. Lančano spremište alata [5]

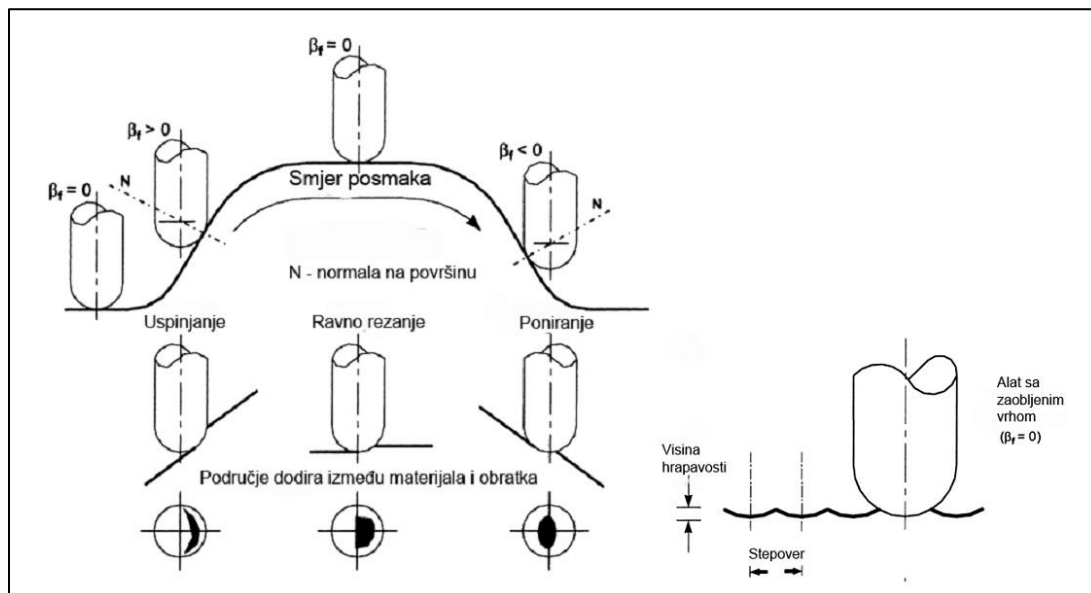
### 3.2. Mogućnosti i usporedba troosne i petoosne obrade

U slučaju obrade komponenti nepravilnih površina koje prilikom korištenja troosne obrade zahtijevaju po nekoliko stezanja kako bi se dovele do željenog izratka, uvođenje petoosne obrade na mjesto troosne pokazuje nedostižne prednosti. Prednosti se još više očituju ukoliko se na takvim komponentama dodatno zahtjeva i bušenje provrta na površini. U slučaju troosne obrade neravnih površina, na površinama uvijek ostaje dodatak za ručnu završnu obradu. Petoosna obrada daje veću kvalitetu obrađene površine. Kvaliteta površine se dobiva pravilnim odabirom kretnji i orijentacija alata prilikom obrade. Ukoliko se ovi parametri valjano postave u većini slučajeva dodatna ručna obrada nije potrebna [2].

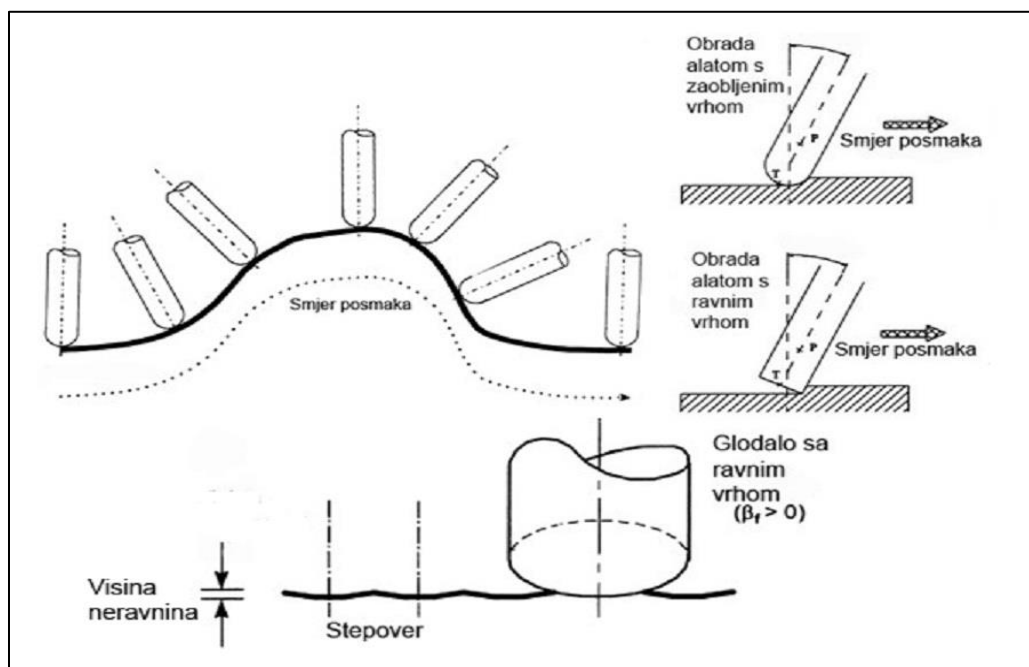
Glavna prednost alatnih strojeva sa više osi je u njihovoj fleksibilnosti tj., mogućnosti pozicioniranja alata u željenoj točki na obratku. Što stroj ima više osi kretanja to je i veća mogućnost izrade geometrijski zahtijevnih profila (npr. lopatice turbine) [1].

5 osi na glodalici (u odnosu na 3 klasične) moguće je postići na neki od ovih načina:

- fiksnim obratkom i rotacijom u dvije osi alata,
- zakretanjem jedne osi alata i dodatne osi stola (okretanje obratka),
- fiksne osi alata (3 osi) plus dvije dodatne osi dobivene rotacijom stola.



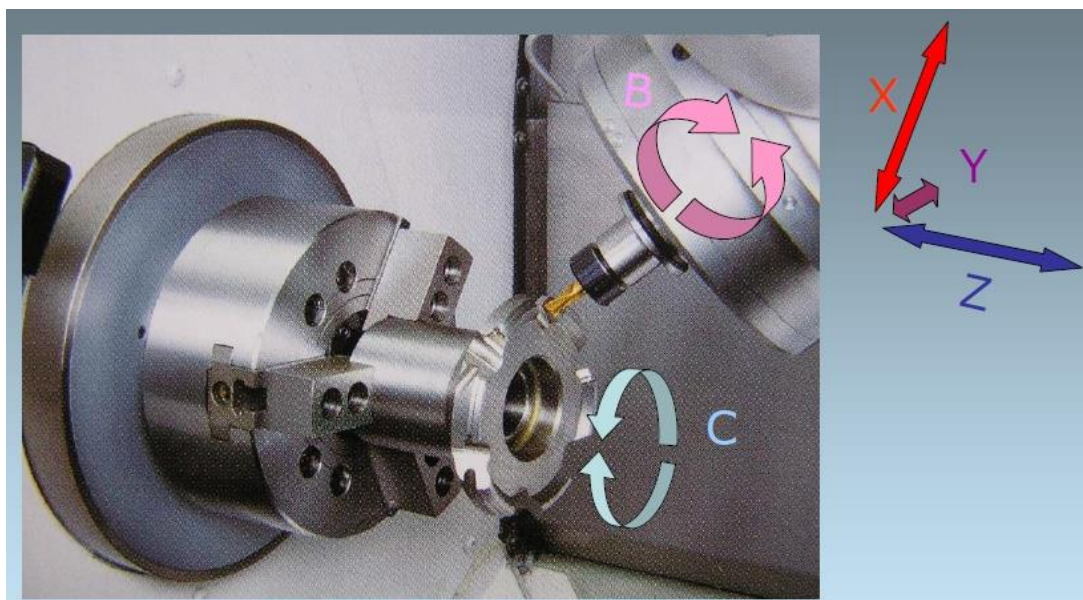
Slika 7. Putanja alata kod troosne obrade [2]



Slika 8. Putanja alata kod petoosne obrade [2]



Najveći nedostatak primjene petoosnih strojeva je to što se zbog većeg broja veza i zglobova između pokretnih dijelova stroja može pojaviti smanjena krutost. Iako konstruktori strojeva ulažu velike napore za otklanjanje ovih nedostataka, kod prijenosnih mehaničkih dijelova pojava zračnosti između komponenata je uvijek prisutna [2].



Slika 9. Petoosna obrada [6]

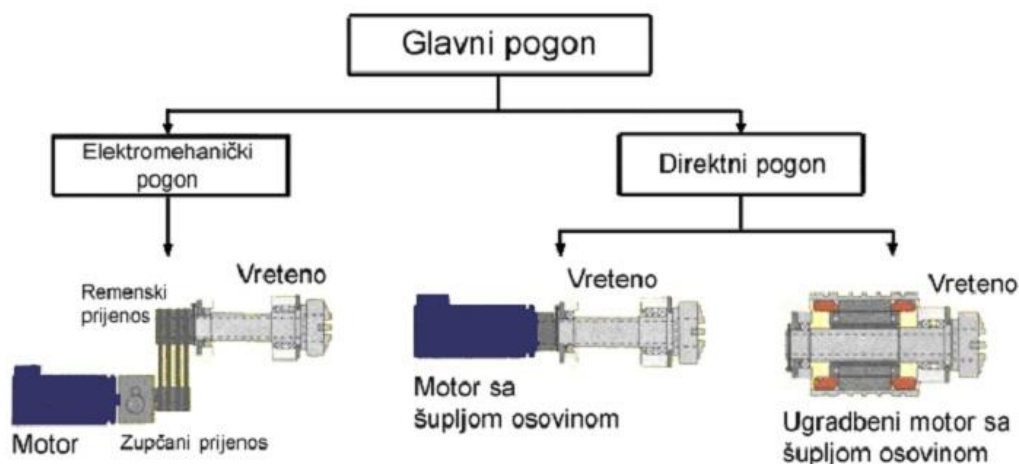


## 4. GLAVNI PRIGON NU-STROJEVA

Zadatak glavnog prigona alatnog stroja je da realizira naredbe dobijene od upravljačke jedinice. On pokreće radne dijelove alatnog stroja brzinama i pomacima prema programu, te vodi ih i dovodi u zadane položaje [7].

Pri tome treba omogućiti:

- ostvarenje bestrzajnog pokretanja,
- promjenu smjera i zaustavljanje,
- linearnu zavisnost između ulaznog i izlaznog signala,
- visok stupanj reagiranja na upravljačke signale,
- visok stupanj iskoristivosti,
- male gabaritne veličine,
- pouzdanost pri radu.



Slika 10. Prikaz uobičajenih izvedbi glavnog prigona [2]

Prigon za glavno gibanje ostvaruje različite brzine vrtnje glavnog vretena za koje se preko posebnog pribora pričvršćuje alat ili obradak. Najčešće se brzine vrtnje glavnog vretena mijenjaju promjenom broja okretaja izlaznog vratila prijenosnika glavnog gibanja. Glavno vreteno se pokreće pomoću motora i prijenosnika između kojih se nalazi i uređaj za mjerenje brzine vrtnje [7].

Bez obzira na velik broj izvedbi glavnog prigona moguće je izdvojiti sljedeće module koji su im zajednički [2]:

- pogonski motor,
- vreteno (glavno vreteno, prednje i stražnje uležištenje),
- sustav za prihvat i stezanje alata,
- kućište (hlađenje, podmazivanje, SHIP).

## **4.1. Osnovni dijelovi glavnog prigona**

### **4.1.1. Pogonski motori**

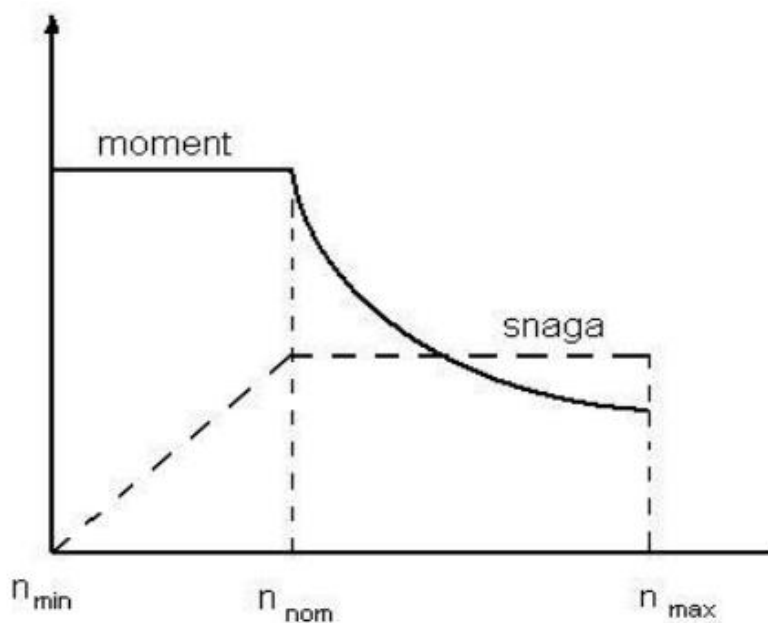
Pogonski motori kod numerički upravljanih alatnih strojeva u zavisnosti od izvora energije mogu biti: elektromotori istosmjerne i naizmjenične struje, koračni motori, hidraulički motori, pneumatski motori i drugi.

Prema funkciji koju obavljaju mogu biti: za glavna i pomoćna gibanja.

U primjeni su najčešće: elektromotori istosmjerne struje ili DC–motori (Direct Current ), elektromotori naizmjenične struje ili AC-motori (Alternate Current ), i to sinkroni ili asinkroni, te koračni motor (Stepping).

Prilikom izbora elektromotora bitne su sljedeće karakteristike:

- snaga  $P$  (kW),
- moment  $M$  (Nm),
- broj okretaja  $n$  ( $\text{min}^{-1}$ ),
- stupanj iskoristivosti  $\eta$ ,
- rad pri konstantnom opterećenju i uvjetima,
- masa, dimenzije, način ugradnje itd.



Slika 11. Karakteristika AC i DC elektromotora

#### **4.1.2. Glavno vreteno**

Glavno vreteno je najvažnije vratilo u kinematskom lancu prijenosnika glavnog gibanja. Na njega se pričvršćuje sustav prihvata alata i rezni alat. Zadatak glavnog vretena je osiguravanje zadanog položaja između alata i obratka, preko nosećeg sustava stroja. Njegove dimenzije rezultat su konstrukcijskih zahtjeva koji će se razmotriti kasnije u radu.

Vreteno se oslanja na dva oslonca, dok je moguća i izvedba sa tri oslonca kod kojih je treći bliže glavi vretena. Oslonac može biti sa jednim ležajem ili kombinacija ležajeva. Ležajevi koji se koriste mogu biti radijalni, aksijalni ili radijalno-aksijalni. Obično su metalni, no u zadnje vrijeme koriste se i u kombinaciji keramike i metala te zračni i magnetni ležajevi kod kojih je izbjegnuta kontakt elemenata [2].

#### **4.1.3. Sustav za priхват i stezanje alata**

On podrazumjeva standardizirani oblik prednjeg dijela glavnog vretena koji se naziva modul za prihvat alata. Standardiziran je po pitanju oblika i priključnih mjera, a obično su to ISO te HSK prihvat alata. Ostatak sustava za prihvat alata čini dio za stezanje koji omogućuje silu potrebnu za stezanje, te isto tako za otpuštanje alata. Sustav za stezanje alata utječe na unutarnje mjere glavnog vretena [2].

#### **4.1.4. Kućišta glavnog vretena**

Predstavljaju dio glavnog prigona u koji ulazi glavno vreteno s uležištenjem i sustav za stezanje, dok je kod motorvretena to dio u koji ulaze svi moduli glavnog prigona. Pored tih funkcija, kućište mora osigurati dodatni prostor u koji će biti smještene i neke druge, dodatne funkcije poput hlađenja, podmazivanja ležajeva, dovod SHIP-a, prostor za hidrauličke i pneumatske instalacije, elektroinstalacije i drugo [2].

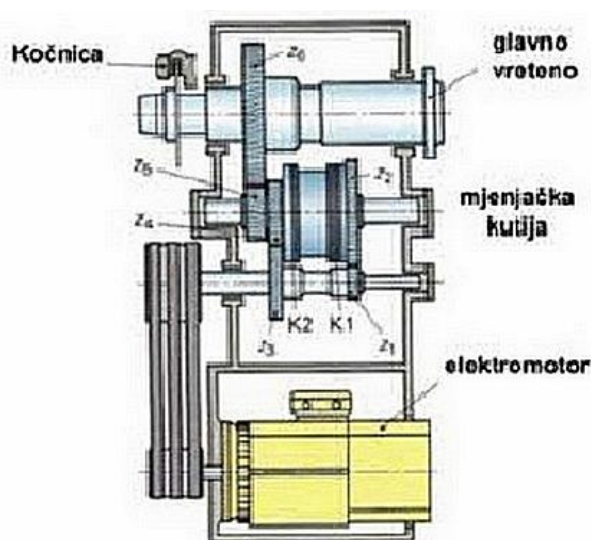
## 4.2. Elektromehanički glavni prigon

Kod alatnih strojeva sa vanjskim pogonom okretni moment od pogonskog elektromotora do glavnog vretena ide preko sustava remenskog i/ili zupčanog prijenosa, u današnje vrijeme koristi se direktni prijenos putem remenica te pogon putem motorvretena.

### 4.2.1. Klasični elektromehanički prigon

Za regulaciju broja okretaja glavnog vretena koriste se različiti parovi zupčanika čijim međusobnim kombinacijama na izlazu glavnog vretena dobivamo stupnjevitu promjenu (12,16) broja okretaja (450, 560, 710, 900, 1120, 1400 itd.). Ovakav način regulacije broja okretaja glavnog vretena danas je napušten jer je imao niz nedostataka [1]:

- masivna i nekompaktna konstrukcija,
- stupnjevita promjena broja okretaja,
- nemogućnost precizne regulacije kretanja,
- velika buka,
- gubici u prijenosu.



Slika 12. Klasični elektromehanički prigon [1]

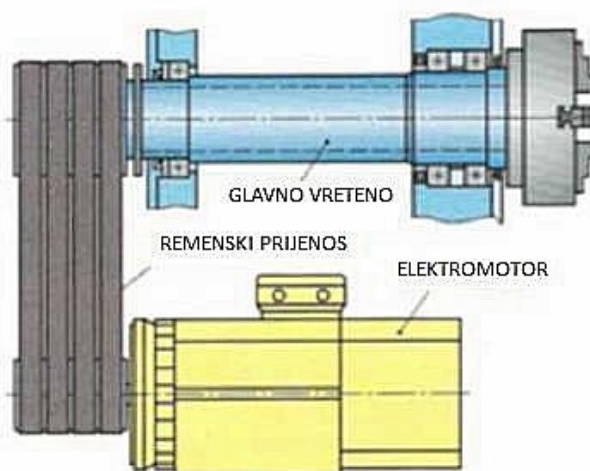
#### 4.2.2. Direktni glavni prigon s remenskim prijenosom

Kompaktnu formu (nema vanjskih mehaničkih jedinica) direktnog pogona glavnog vretena karakterizira niz prednosti:

- kontinuirana promjena broja okretaja (bilo koji broj okretaja između  $n_{\min}$  i  $n_{\max}$ )
- kompaktna izvedba alatnog stroja (ušteta na prostoru),
- kraće vrijeme zaleta i kočenja,
- povećana produktivnost obrade, kvaliteta i točnost,
- manje buke i vibracija,
- veći stupanj iskoristivosti (nema dodatnih gubitaka u prijenosu).

Na slici je prikazan jedan takav sustav koji se sastoji od nekoliko osnovnih strojnih elemenata koji omogućuju razne mogućnosti primjene. U takvom sustavu glavnog prigona posebno je zanimljiva mogućnost promjene značajki primjenom različitih elektromotora i prijenosnih omjera, kao i uporaba većih motora zbog djelomične neograničenosti prostorom, kako je vreteno odvojeno od motora. Iz tog razloga ovaj sustav i njegovi djelovi biti će korišteni u daljnjem prikazu u radu.

Obično, takvi sustavi zbog remenskog prijenosa, kojim su ograničeni u pogledu prijenosa brzine postižu brzine od 12000 do 15000 okretaja u minuti, no gore navedene prednosti i mogućnosti čine ih zanimljivim za projektiranje [2].



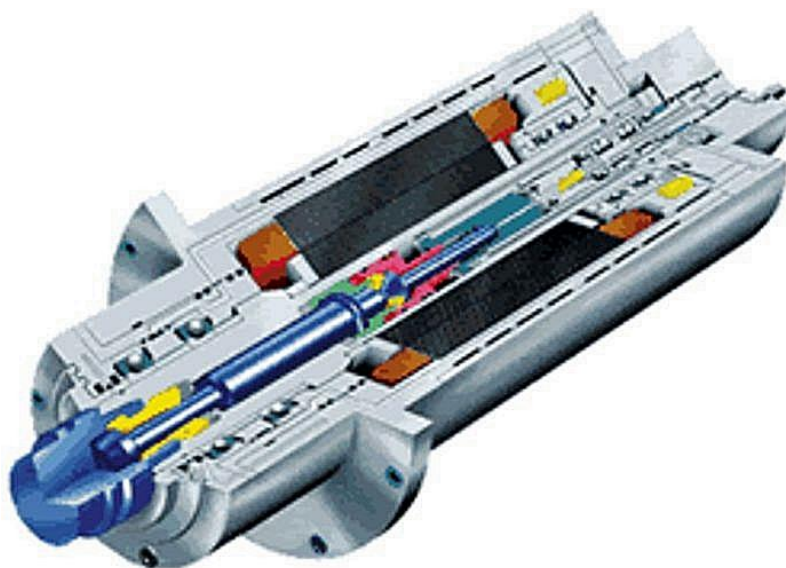
Slika 13. Direktni glavni prigon s remenskim prijenosom [2]

### 4.3. Motorvreteno

Za potrebe VBO (visokobrzinske obrade) zadnjih godina primjenjuje se sistem integrirane gradnje glavnog vretena i elektromotora tzv. motorvretena. To je ustvari elektromotor čije vreteno je ujedno i glavno vreteno alatnog stroja. Broj okretaja motorvretena sežu do čak  $100\,000\text{ min}^{-1}$ . Posebnu pažnju treba usmjeriti na toplinsku izolaciju vreteništa (zagrijavanje elektromotora), zbog čega se elektromotor tekućinski hladi [1].

Zbog kompleksnosti izrade obično se izvode specijalno za neku namjenu prema zahtjevu naručitelja za specifičnu uporabu. Zbog svoje kompleksnosti izrade posebnu pažnju potrebno je posvetiti na toplinsku bilancu, te podmazivanju ležajeva.

Iako imaju višu cijenu od direktnog pogona i potrebu za toplinskom izolacijom vretena prednosti kao što su, visoki brojevi okretaja (kraće vrijeme izrade) uz minimalne vibracije (time veća kvaliteta i točnost), kao i integrirano rješenje (modularna gradnja alatnih strojeva) doveli su do intenzivnije upotrebe motorvretena.



Slika 14. Motorvreteno [2]

## 5. PRORAČUN GLAVNOG PRIGONA

### 5.1. Ulazni podaci

Ulazni podaci razlikuju se ovisno o vrsti stroja i njegovoj funkciji, tako da će se u ovom poglavlju definirati postupak obrade, geometrija reznog alata i materijala obratka koji će se najčešće koristiti na stroju. Katalog reznih alata koji će se koristiti kod izbora i proračuna biti će od proizvođača "Sandvik-Coromant".

Ulazni podaci za proračun osnovnih elemenata glavnog prigona vertikalnog obradnog centra su [9]:

- maksimalni promjer glodala  $D_c = 63 \text{ mm}$ ,
- glodala s pločicama od tvrdog metala,
- obrađivani su dijelovi najčešće iz čelika X155CrVMo12-1 (Č4850 odnosno W.Nr. 1.2379).

Rezultantna sila rezanja se rastavlja u tri komponente:

- glavna sila rezanja  $F_c$  – djeluje tangencijalno po obodu glodala u točki promatranja,
- posmična sila rezanja  $F_f$  – djeluje u smjeru posmičnog gibanja,
- natražna (odrivna) sila rezanja  $F_p$  – djeluje u smjeru osi glodala tj. u smjeru dostavnog gibanja.

Glavna sila rezanja  $F_c$ , posmična sila  $F_f$  i natražna sila  $F_p$  čine prostornu resultantnu silu rezanja:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2}$$

$$P_c = F_c \cdot v_c$$

Za poznati promjer glodala  $D_c = 63 \text{ mm}$  na raspolaganju je više različitih varijanti glodala s obzirom na kut zahvata ( $90^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ , okrugle pločice).



Kut zahvata je vrlo važan jer o njemu ovise:

- debljina odvojene čestice,
- sile glodanja,
- postojanost reznih pločica.

Unutar ovog proračuna isporučit ćemo parametre i dobivene vrijednosti dvaju izvedbi reznih pločica i to okrugle pločice i pločice s kutom zahvata od 90°.

## 5.2. Izbor alata i parametri

Prema tablici 1. iz kataloga "Sandvik-Coromant" za materijal W.Nr. 1.2379 odnosno X155CrVMo12-1 interna oznaka glasi P3.0.Z.AN odnosno 03.21.

Tablica 1. Oznake materijala obratka [10]

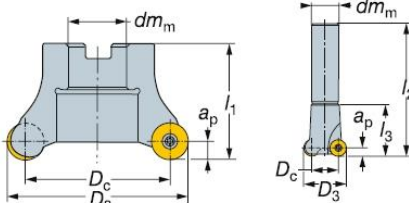
High-alloy steel							
P3.0.Z.AN	03.11	X210Cr12	1.2080	BD3	-	-	D3
P3.0.Z.AN	03.11	X43Cr13	1.2083			2314	
P3.0.Z.AN	03.11	X40CrMoV5 1	1.2344	BH13	-	2242	H13
P3.0.Z.AN	03.11	X100CrMoV5 1	1.2363	BA2	-	2260	A2
P3.0.Z.AN	03.11	X210CrW12	1.2436	-	-	2312	-
P3.0.Z.AN	03.11	X30WCrV9 3	1.2581	BH21	-	-	H21
P3.0.Z.AN	03.11	X165CrMoV 12	1.2601	-	-	2310	-
P3.0.Z.AN	03.21	X155CrMoV12-1	1.2379	-	-	2736	HNV3
P3.0.Z.HT	03.11	X8Ni9	1.5662	1501-509;510	-	-	ASTM A353


Prvo glodalo koje izabiremo je Coromill 200 051Q22-12M s okruglim pločicama.

Koristi se za grubo glodanje, obodno, čeono i profilno. Glodalo ima okrugle rezne pločice, te zbog toga posjeduje snažnu reznju oštricu. Zavisno o zauzetoj dubini rezanja mijenja se kut  $\kappa_r$  od 0° do 90°.

Tablica 2. Dimenzije glodala CoroMill 200 [11]

Max cutting depth ( $a_p$ ) = 6 mm















$D_3$	Ordering code		Ordering code		Ordering code		Dimensions, mm				
	Coarse pitch (L) Differential		Close pitch (M) Differential		Extra close pitch (H) Even		$D_c$	$dm_m$	$l_1$	$n_{max}$	
	Arbor										
50	R200-038Q22-12L	3	R200-038Q22-12M	4	R200-038Q22-12H	5	38	22	50	18800	12
52	040Q22-12L	3	040Q22-12M	4	040Q22-12H	5	40	22	50	18000	
63	051Q22-12L	3	051Q22-12M	4	051Q22-12H	5	51	22	50	16200	
80	068Q27-12L	4	068Q27-12M	6	—		68	27	50	14000	
100	088Q32-12L	4	088Q32-12M	6	—		88	32	50	12300	

Prema početnim uvjetima odabiru se dimenzije glodala prema tablici:

- maksimalna dubina rezanja:  $a_{pmax.} = 6$  mm
- postavni kut:  $\kappa_r = 0^\circ \div 90^\circ$
- broj zubi glodala:  $z_n = 4$
- veličina pločice: 12
- maksimalni promjer glodala  $D_3 = 63$  mm

Tablica 3. Oznaka rezne pločice CoroMill 200 [11]

ISO/ANSI	L = Light M = Medium H = Heavy	GOOD CONDITIONS			First choice AVERAGE CONDITIONS			DIFFICULT CONDITIONS		
										
										
	L/M/H	Ordering code	$v_c$	$f_z$	Ordering code	$v_c$	$f_z$	Ordering code	$v_c$	$f_z$
<b>P</b>	L	RCHT1204M0-PL 1030	250	0.08	RCHT1204M0-PL 1030	250	0.08	RCHT1204M0-PL 1030	250	0.08
	M	RCKT1204M0-PM 4220	290	0.24	RCKT1204M0-PM 4230	250	0.21	RCKT1204M0-PM 4240	205	0.24
	H	RCKT1204M0-PH 4220	250	0.35	RCKT1204M0-PH 4230	205	0.35	RCKT1204M0-PH 4240	175	0.35

Odabrana je pločica CoroMill 200 RCKT1204M0-PM 4230

- posmak po zubu:  $f_z = 0,21$  mm/zubu

Tablica 4. Izrazi za maksimalnu debljinu odvojene čestice [9]

Entering angle $K_r$	Feed/tooth, $f_z$	Actual, max chip thickness, $h_{ex}$
90°	$f_z$	$h_{ex} = f_z$
75°	$f_z$	$h_{ex} = 0.96 \times f_z$
60°	$f_z$	$h_{ex} = 0.86 \times f_z$
45°	$f_z$	$h_{ex} = 0.707 \times f_z$
Round insert	$f_z$	$h_{ex} = \frac{\sqrt{iC^2 \times (iC - 2a_p)^2}}{iC} \times f_z$

Maksimalna debljina odvojene čestice  $h_{ex}$  se računa prema izrazu iz tablice 4:

$$h_{ex} = \frac{\sqrt{iC^2 \cdot (iC - 2a_p)^2}}{iC} \cdot f_z = \frac{\sqrt{12^2 \cdot (12 - 2 \cdot 4)^2}}{12} \cdot 0,21 = 0,084 \text{ mm}$$

- preporučena dubina rezanja proizvođača za promjere 40÷80 mm:  $a_p = 4$  mm

Tablica 5. Potrebni parametri za rezu pločicu RCKT1204M0-PM 4230 [10]

		IO	Ordering code	P				M				K				N				S				H				Dimensions, mm																	
				1025	1030	4220	4230	4240	530	1025	1030	1040	2030	2040	235	530	1020	1030	3040	3220	4220	530	1025	1030	1010F	1013A	1010	1025	1030	2030	2040	1010F	1013A	530T	540T	1010	1025	1030	3040	4220	530	iC	s		
Light	10	RCHT 10 T3 M0-PL	☆	☆			☆	530		☆	1030											☆	1030		1010F		☆	1010							☆	1010	☆	1025	☆	1030		☆	10	3.97	
		RCHT 10 T3 M0-ML								☆		☆										☆					☆								☆	1025	☆	1030		☆	10	3.97			
		RCHT 10 T3 M0-KL											☆									☆					☆								☆	1030		☆	10	3.97					
	12	RCHT 12 04 M0-PL	☆	☆				☆		☆												☆					☆								☆	1010	☆	1025	☆	1030		☆	12	4.76	
		RCHT 12 04 M0-ML								☆		☆										☆					☆								☆	1025	☆	1030		☆	12	4.76			
		RCHT 12 04 M0-KL											☆									☆					☆								☆	1030		☆	12	4.76					
	16	RCHT 16 06 M0-PL	☆	☆				☆		☆												☆					☆								☆	1010	☆	1025	☆	1030		☆	16	6.35	
		RCHT 16 06 M0-ML								☆		☆										☆					☆								☆	1025	☆	1030		☆	16	6.35			
		RCHT 16 06 M0-KL											☆									☆					☆								☆	1030		☆	16	6.35					
	20	RCHT 20 06 M0-PL	☆	☆				☆		☆												☆					☆								☆	1010	☆	1025	☆	1030		☆	20	6.35	
		RCHT 20 06 M0-ML								☆		☆										☆					☆								☆	1025	☆	1030		☆	20	6.35			
		RCHT 20 06 M0-KL											☆									☆					☆								☆	1030		☆	20	6.35					
Medium	10	RCKT 10 T3 M0-WM					☆						☆	☆								☆					☆								☆	1010	☆	1025	☆	1030		☆	10	3.97	
		RCKT 10 T3 M0-PM		☆	☆	☆		☆											☆				☆				☆								☆	1025	☆	1030		☆	10	3.97			
		RCKT 10 T3 M0-MM							☆	☆	☆											☆					☆								☆	1030		☆	10	3.97					
		RCKT 10 T3 M0-KM													☆	☆						☆					☆								☆	1030		☆	10	3.97					
	12	RCKT 12 04 M0-WM					☆						☆	☆									☆					☆							☆	1010	☆	1025	☆	1030		☆	12	4.76	
		RCKT 12 04 M0-PM		☆	☆	☆		☆															☆					☆							☆	1025	☆	1030		☆	12	4.76			
		RCKT 12 04 M0-MM							☆	☆	☆											☆					☆								☆	1030		☆	12	4.76					
		RCKT 12 04 M0-KM													☆	☆						☆					☆								☆	1030		☆	12	4.76					
	16	RCKT 16 06 M0-WM								☆													☆					☆								☆	1010	☆	1025	☆	1030		☆	16	6.35
		RCKT 16 06 M0-PM		☆	☆	☆		☆															☆					☆							☆	1025	☆	1030		☆	16	6.35			

Tablica 6. Izbor parametara za materijal obratka i prema reznom materijalu [10]

ISO P			Specific cutting force $k_{c1}$	Hardness Brinell		GC4230
MC No.	CMC No.	Material	N/mm <sup>2</sup>	HB	mc	0.1-0.2-0.3
P1.1.Z.AN	01.1	Steel				
P1.2.Z.AN	01.2	Unalloyed				
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0.1–0.25%	1500	125	0.25	465–445–425
P1.3.Z.AN	01.4	C = 0.25–0.55%	1600	150	0.25	420–400–385
P1.3.Z.AN	01.5	C = 0.55–0.80%	1700	170	0.25	395–380–360
P1.3.Z.HT	01.5		1800	210	0.25	345–330–315
			2000	300	0.25	255–245–235
P2.1.Z.AN	02.1	Low-alloy (alloying elements ≤5%)				
P2.5.Z.HT	02.2	Non-hardened	1700	175	0.25	325–315–300
		Hardened and tempered	1900	300	0.25	215–205–195
P3.0.Z.AN	03.11	High-alloy (alloying elements >5%)				
P3.1.Z.AN	03.13	Annealed	1950	200	0.25	225–215–205
P3.0.Z.HT	103.21	Hardened tool steel	2150	200	0.25	185–180–170
P3.0.Z.HT	103.22		2900	300	0.25	165–155–150
			3100	380	0.25	100–95–95

- specifični jedinični otpor rezanja:  $k_{c1} = 2900 \text{ N/mm}^2$
- koeficijent  $mc = 0,25$
- brzina rezanja:  $v_c = 165 \text{ m/min}$

Brzina vrtnje glavnog vretena vertikalnog obradnog centra:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{D_c \cdot \pi} = \frac{1000 \cdot 165}{63 \cdot \pi} = 833,67 \text{ min}^{-1} = 13,9 \text{ s}^{-1}$$

Posmična brzina:

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z_n = 0,21 \cdot 13,9 \cdot 4 = 11,7 \text{ mm/s} = 702 \text{ mm/min.}$$

Specifična sila rezanja:

$$K_c = k_{c1} \cdot h_m^{-mc} = 2900 \cdot 0,1599^{-0,25} = 4586,02 \text{ N/mm}$$

Gdje je  $h_m$  srednja debljina odvojene čestice:

$$h_m = \frac{180 \cdot \sin \kappa_r \cdot a_e \cdot f_z}{\pi \cdot D_c \cdot \arcsin(\frac{a_e}{D_c})} = \frac{180 \cdot \sin 60^\circ \cdot 48 \cdot 0,21}{\pi \cdot 63 \cdot \arcsin(\frac{48}{63})} = 0,1599 \text{ mm}$$

- za preporučenu dubinu rezanja  $a_p = 4 \text{ mm}$ ,  $\kappa_r = 60^\circ$

Gdje je  $a_e$  radijalna širina obrade:

$$a_e = \frac{D_c}{1,2 \div 1,5} = \frac{63}{1,2 \div 1,5} = 42 \div 52,5 \text{ mm}$$

- odabrano: 48 mm

Potrebna snaga pri glodanju:

$$P_c = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f \cdot K_c}{60 \cdot 10^6} = \frac{48 \cdot 4 \cdot 702 \cdot 4586,02}{60 \cdot 10^6} = 10,3 \text{ kW}$$

Glavna sila rezanja:

$$F_c = \frac{P_c \cdot 60 \cdot 10^3}{v_c} = \frac{10,3 \cdot 60 \cdot 10^3}{165} = 3745,45 \text{ N}$$

Posmična i natražna sila rezanja:

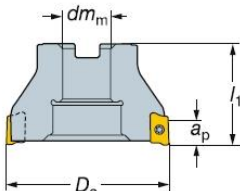
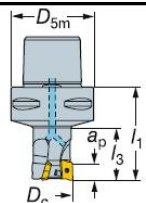
$$F_f = 0,75 \cdot F_c = 0,75 \cdot 3745,45 = 2809,1 \text{ N}$$

$$F_p = 0,4 \cdot F_c = 0,4 \cdot 3745,45 = 1498,2 \text{ N}$$

Moment rezanja:

$$M_c = \frac{P_c \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{10,3 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot 13,9} = 117,9 \text{ Nm}$$

Tablica 7. Dimenzije glodala CoroMill 390 [11]

Insert sizes 11 and 17 mm									
Max cutting depth ( $a_p$ ) insert size 11 = 10 mm insert size 17 = 15.7 mm									
									
$D_c$	Ordering code	Ordering code	Ordering code	Dimensions. mm					
	Coarse pitch (L)	Close pitch (M)	Extra close pitch (H)	$dm_m$	$l_1$	$l_3$	$n_{max}$		
Arbor									
40	—	R390-040Q16-11M <sup>1)</sup>	R390-040Q16-11H <sup>1)</sup>	6	16	40	27000	11	
50	—	050Q22-11M <sup>1)</sup>	050Q22-11H <sup>1)</sup>	7	22	40	23700		
63	—	063Q22-11M <sup>1)</sup>	063Q22-11H <sup>1)</sup>	8	22	40	20700		
80	—	080Q27-11M <sup>1)</sup>	080Q27-11H <sup>1)</sup>	10	27	50	18200		

Odabrano glodalo: CoroMill 390 R390-063Q22-11M









Glavne odlike ovog glodala prikazanog u Tablici 7. su visoka kvaliteta obrađene površine i male aksijalne sile obrade zbog postavnog kuta  $\kappa_r = 90^\circ$ . Prema početnim uvjetima odabiru se dimenzije glodala prema tablici:

- maksimalna dubina rezanja:  $a_{pmax.} = 10 \text{ mm}$
- postavni kut:  $\kappa_r = 90^\circ$
- broj zubi glodala:  $z_n = 6$
- veličina pločice: 11

Odabrana pločica: Coromill R390 – 11T308M – PM 1030

Tablica 8. Oznaka rezne pločice CoroMill 390 [11]

ISO/ANSI	L = Light M = Medium H = Heavy	GOOD CONDITIONS			First choice AVERAGE CONDITIONS			DIFFICULT CONDITIONS		
										
		Ordering code 	$v_c$	$f_z$	Ordering code 	$v_c$	$f_z$	Ordering code 	$v_c$	$f_z$
<b>P</b>	<b>L</b>	R390-11T308M-PL 4230	320	0.08	R390-11T308M-PL 1030	275	0.08	R390-11T308M-PL 4240	270	0.10
	<b>M</b>	R390-11T308M-PM 4230	320	0.10	R390-11T308M-PM 1030	270	0.12	R390-11T308M-PM 4240	270	0.12
		R390-170408M-PM 4230	320	0.17	R390-170408M-PM 1030	265	0.15	R390-170408M-PM 4240	265	0.15
	<b>H</b>	R390-170408M-PH 4240	260	0.20	R390-170408M-PH 4240	260	0.20	R390-170408M-PH 4240	260	0.20

- posmak po zubu:  $f_z = 0,12 \text{ mm/zubu}$
- radius vrha pločice:  $r_\epsilon = 0,8 \text{ mm}$
- prema tablici 4. maksimalna debljina odvojene čestice  $h_{ex} = f_z = 0,12 \text{ mm/z}$

Tablica 9. Izbor parametara za materijal obratka i prema reznom materijalu [10]

ISO P	MC No.	CMC No.	Material	Specific cutting force $k_{c1}$ N/mm <sup>2</sup>	Hardness Brinell HB	mc	GC1025		GC1030
							Max chip thickness, $h_{ax}$ mm		
							0.05-0.1-0.2	0.05-0.1-0.2	
							Cutting speed $v_c$ , m/min		
P1.1.Z.AN	01.1	Steel Unalloyed C = 0.1–0.25% C = 0.25–0.55% C = 0.55–0.80%	1500	125	0.25	365-360-345	405-395-380		
P1.2.Z.AN	01.2		1600	150	0.25	330-325-310	365-355-340		
P1.3.Z.AN	01.3		1700	170	0.25	310-305-290	345-335-320		
P1.3.Z.AN	01.4		1800	210	0.25	270-265-255	300-295-280		
P1.3.Z.HT	01.5		2000	300	0.25	200-195-190	220-220-210		
			Low-alloy (alloying elements ≤5%)						
P2.1.Z.AN	02.1	Non-hardened	1700	175	0.25	300-295-285	285-280-265		
P2.5.Z.HT	02.2	Hardened and tempered	1900	300	0.25	170-165-160	185-180-175		
			High-alloy (alloying elements >5%)						
P3.0.Z.AN	03.11	Annealed	1950	200	0.25	195-190-185	195-190-185		
P3.1.Z.AN	03.13	Hardened tool steel	2150	200	0.25	160-160-150	160-160-150		
P3.0.Z.HT	103.21		2900	300	0.25	140-140-135	140	140-135	
P3.0.Z.HT	103.22		3100	380	0.25	90-85-85	90-85-85		

- specifični jedinični otpor rezanja:  $k_{c1} = 2900 \text{ N/mm}^2$
- koeficijent  $mc = 0,25$
- brzina rezanja:  $v_c = 140 \text{ m/min}$

Prema gore navedenim izrazima za vrijednosti glodala i rezne pločice Coromill 390:

- Brzina vrtnje glavnog vretena vertikalnog obradnog centra:  $n = 707,35 \text{ min}^{-1} = 11,8 \text{ s}^{-1}$
- Posmična brzina:  $v_f = 8,5 \text{ mm/s} = 510 \text{ mm/min}$ .
- Specifična sila rezanja:  $K_C = 5088,44 \text{ N/mm}$
- srednja debljina odvojene čestice:  $h_m = 0,1055 \text{ mm}$
- radijalna širina obrade:  $a_e = 42 \div 52,5$ , odabrano: 48 mm
- Potrebna snaga pri glodanju:  $P_C = 12,45 \text{ kW}$
- Glavna sila rezanja:  $F_C = 5335,7 \text{ N}$
- Posmična i natražna sila rezanja:  $F_f = 4001,8 \text{ N}$ ;  $F_p = 2134,3 \text{ N}$
- Moment rezanja:  $M_C = 167,9 \text{ Nm}$

Na osnovu dobivenih veličina odabire se glodalo Coromil 390, zbog većeg potrebnog momenta pri rezanju kako bi se izabrao elektromotor potrebne snage te mogućnosti dobivanja visoke kvalitete obrađene površine. Uzimaju se pripadajuće veličine  $P_c$ ,  $M_c$  i  $n$  kao ulazni podaci za proračun pogonskog motora.

### 5.3. Izbor pogonskog elektromotora

Potrebna snaga pogonskog elektromotora:

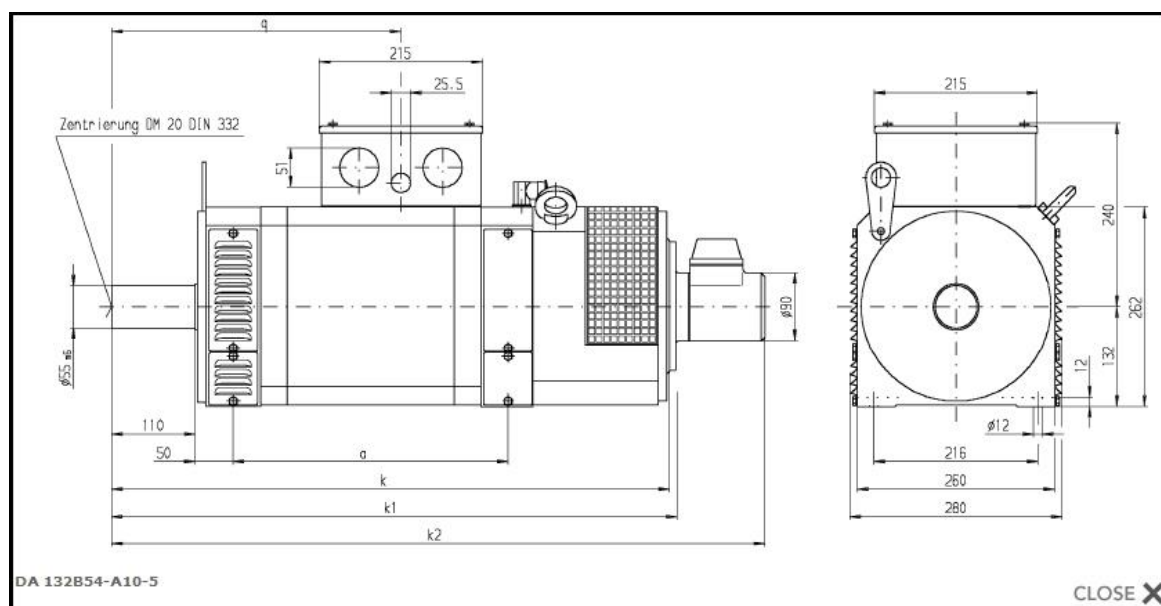
$$P_M = \frac{P_c}{\eta_s} = \frac{12,45}{0,85} = 14,65 \text{ kW}$$

gdje je  $\eta_s$  mehanički stupanj djelovanja (iskoristivost) glavnog prigona u rasponu  $0,7 \div 0,9$ , odabrano je 0,85.

S obzirom na potrebnu izračunatu snagu odabire se iz kataloga elektromotor koji mora zadovoljavati uvjet da je njegova nominalna snaga  $P_{NM}$  veća od potrebne izračunate snage.

$$P_{NM} > P_M$$

Izabire se elektromotor [NCT DA 132B54-A10-5](#) nominalne snage  $P_{NM} = 22,5 \text{ kW}$ , max. brzine vrtnje: 5000 okr./min. i nazivnog momenta 215 Nm. [12]



Slika 15. Asinkroni elektromotor [12]



## 5.4. Proračun remenskog prijenosa

Da bi se ostvario potrební moment rezanja od 167,9 Nm nije potreban prijenosni omjer remenicama te je  $i_R = 1$ , potrebna brzina vrtnje od 707,35 okr./min. se može ostvariti s obzirom na max. brzinu vrtnje elektromotora.

- max. brzina remena koja je dozvoljena:  $v_r = 60$  m/s.

Da bi se zadovoljila max. dozvoljena brzina remena od 60 m/s pri max. brzini vrtnje od  $5000 \text{ min}^{-1}$  promjer pogonske remenice glasi:

$$d_1 = \frac{v_r}{\pi \cdot n_{max}} = \frac{60}{\pi \cdot 83,33} = 0,22918 \text{ m} = 229,18 \text{ mm}$$

Iskustveno izabiremo zupčasti remen tvrtke BRECO tip AT10 [12]

- korak remena:  $p = 10$  mm,
- širina remena  $b = 50$  mm,
- širina remenice  $B = 60$  mm.

Odabrana je pogonska remenica iz tablice diobenog promjera  $d_{01} = 229,18$  mm, te unutarnjeg promjera  $d_{k1} = 227,30$  mm i broja zubi  $z_1 = 72$ .

Pošto je prijenosni omjer  $i_R = 1$  odabiremo i gonjenu remenicu jednakih dimenzija:

$$d_{02} = 229,18 \text{ mm}, d_{k2} = 227,30 \text{ mm}, z_2 = 72.$$

Iz tablice (katalog Breco str. 13) za max. brzinu vrtnje od 5000 okr./min. očitana je specifična sila na zubu remenice  $F_{U\text{spec}} = 26,9$  N/cm.

Iz tablice (katalog Breco str. 13) očitane su vrijednosti:

- dozvoljena max. sila na remen  $F_{zul} = 7500$  N
- specifična krutost remena  $c_{\text{spec}} = 1,87 \cdot 10^6$  N
- specifična masa remena  $\rho_l = 0,380$  kg/m

Obuhvatni kut remena:

$$\cos \frac{\beta}{2} = \frac{d_{02} - d_{01}}{2 \cdot a_{pr}} = \frac{229,18 - 229,18}{2 \cdot 275} = 0$$

$$\beta = \pi$$

Početni razmak osi ozubljenih remenica:

$$a_{pr} = 1,2 \cdot \frac{d_{02} + d_{01}}{2} = 1,2 \cdot \frac{229,18 + 229,18}{2} = 275 \text{ mm}$$

Ukupna duljina zupčastog remena:

$$L_r = \beta \cdot \frac{d_{01}}{2} + (2\pi - \beta) \frac{d_{02}}{2} + 2 \cdot a_p \cdot \sin \frac{\beta}{2}$$

$$L_r = \pi \cdot \frac{229,18}{2} + (2\pi - \pi) \frac{229,18}{2} + 2 \cdot 275 \cdot \sin \frac{\pi}{2} = 735,1 \text{ mm}$$

- izabrana standardna ukupna duljina remena:  $L_{st} = 730 \text{ mm}$

Stvarni razmak osi remenica:

$$a_{st} = \frac{L_{st} - \beta \cdot \frac{d_{01}}{2} - (2\pi - \beta) \cdot \frac{d_{02}}{2}}{2 \cdot \sin \frac{\beta}{2}}$$

$$a_{st} = \frac{730 - \pi \cdot \frac{229,18}{2} - (2\pi - \pi) \cdot \frac{229,18}{2}}{2 \cdot \sin \frac{\pi}{2}} = 182,58 \text{ mm}$$

Obodna sila na remenicu:

$$F_O = \frac{P_{NM}}{v_{02}} = \frac{22500}{8,496} = 2648,3 \text{ N}$$

- gdje je  $v_{02}$  - obodna brzina remenice glavnog vretena kod glodanja glodalom  $D_c = 63 \text{ mm}$

$$v_{02} = d_{02} \cdot \pi \cdot n = 0,22918 \cdot \pi \cdot 11,8 = 8,496 \text{ m/s}$$

Kontrola širine remena:

$$b = \frac{F_O}{F_{Uspec} \cdot z_e} = \frac{2648,3}{26,9 \cdot 36} = 2,7347 \text{ cm} = 27,35 \text{ mm}$$

- gdje je  $z_e$  – broj zubi u zahvatu pogonske remenice

$$z_e = z_1 \cdot \frac{\beta}{2 \cdot \pi} = 72 \cdot \frac{\pi}{2 \cdot \pi} = 36$$

Odabrana širina remena zadovoljava:

$$b = 27,35 \text{ mm} < b_{izabrano} = 50 \text{ mm}$$

Kontrola izdržljivosti remena:

$$F_R = F_O + F_p = 2648,3 + 1324,15 = 3972,45 \text{ N}$$

Sila prednaprezanja  $F_p$  je približno 50% manja od obodne sile  $F_O$

$$F_p = 0,5 \cdot F_O = 0,5 \cdot 2648,3 = 1324,15 \text{ N}$$

$$F_R = 3972,45 \text{ N} < F_{zul} = 7500 \text{ N}$$

- remen zadovoljava.

Potreban hod za ostvarenje sile prednaprezanja:

$$l = \frac{F_p \cdot L_{st}}{2 \cdot c_{spec}} = \frac{1324,15 \cdot 730}{2 \cdot 1,87 \cdot 10^6} = 0,258 \text{ mm}$$

## 5.5. Glavno vreteno

Glavna vretena alatnih strojeva mogu se svrstati u tri različite grupe prema vrijednostima prepusta glavnog vretena i promjera prednjeg ležaja [9]:

- TIP I
- brusilice, precizne tokarilice i glodalice s kratkim prepustom,
  - veoma kruto glavno vreteno za visoke zahtjeve točnosti,
  - kotrljajuće uležištenje.

$$K_a = \frac{a}{D_a} = 0,6 \dots 1,5$$

- TIP II
- tokarilice i glodalice sa srednjom i dugom glavom vretena,
  - kotrljajuće i klizno uležištenje,
  - srednji zahtjevi točnosti i kvalitete obrade.

$$K_a = \frac{a}{D_a} = 1,25 \dots 2,5$$

- TIP III
- strojevi za obradu provrta,
  - pinolna izvedba glavnog vretena,
  - za najmanje zahtjeve točnosti.

$$K_a = \frac{a}{D_a} = 2,5 \dots 5 \text{ (može i više)}$$

Za glavni prigon vertikalnog obradnog centra odabire se TIP I, sa faktorom prepusta glave  $K_a = 0,8$ . Također iz tablice 10. odabiru se prema snazi stroja iskustvene vrijednosti za promjer prednjeg ležaja  $D_A = 110\text{mm}$  (danas su vrijednosti nešto niže u odnosu na prikazanu tablicu). Prema tome prepust prednjeg dijela  $a = 88 \text{ mm}$ .

Tablica 10. Približna ovisnost promjera vretena u prednjem ležaju od snage stroja [9]

PRIBLIŽNA OVISNOST PROMJERA VRETENA U PREDNJEM LEŽAJU OD SNAGE STROJA

Strojevi	Za snagu stroja u kW promjeri su u mm za pretprojekt								
	1,5 do 2,5	2,5 do 3,5	3,5 do 5,5	5,5 do 7,5	7,5 do 11	11 do 14,5	14,5 do 18	18 do 22	22 do 30
Tokarilice, $\phi$ u prvom ležaju A:	60 do 80	70 do 90	80 do 105	95 do 125	110 do 145	130 do 165	150 do 190	180 do 220	200 do 240
Glodalice, $\phi$ u prvom ležaju A:	50 do 80	60 do 90	70 do 100	80 do 110	90 do 120	100 do 130	—	—	—
Brusilice za okruglo brušenje, $\phi$ u prvom ležaju A:	—	50 do 60	60 do 70	70 do 80	80 do 90	85 do 95	90 do 100	95 do 105	100 do 110

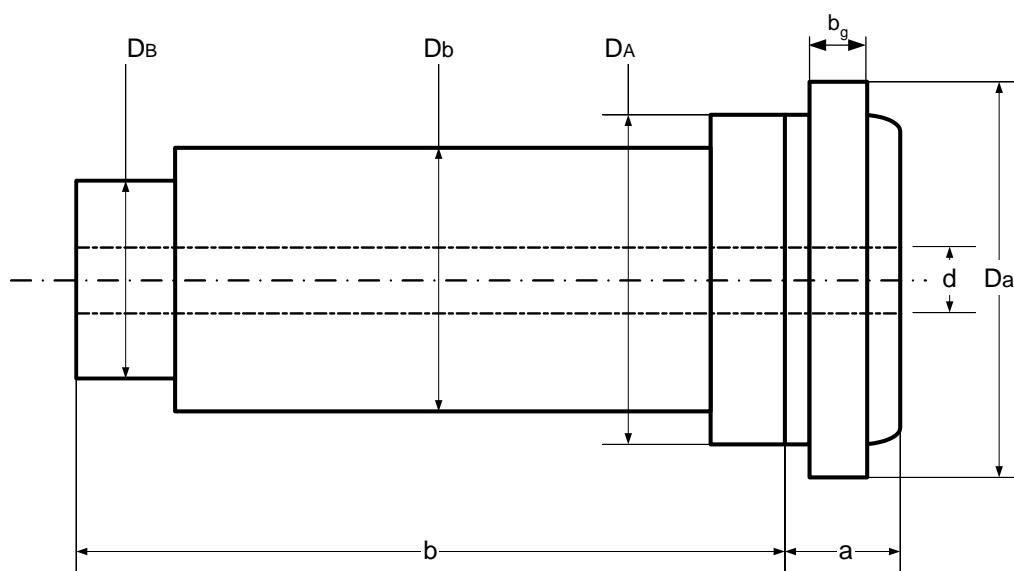
Izbor faktora raspona ležajeva vrši se prema vrsti stroja, odnosno prema tipu glavnog vretena alatnog stroja prema tablici 11.

Tablica 11. Izbor faktora prepusta glave [9]

TIP GLAVNOG VRETENA	$K_a$ ↓	↑ $K_b$
I	0,6 - 1,5	3,7 - 1,25
II	1,25 - 2,5	1,5 - 0,7
III	2,5 - 5,0	0,7 - 0,3

Prema tablici i odabranoj vrijednosti  $K_b = 3,2$  iz odnosa  $K_b = b/a$  slijedi:

$$b = K_b \cdot a = 3,2 \cdot 88 = 281,6 \text{ mm}$$



Slika 16. Pojednostavljeni prikaz glavnog vretena [2]

Dobivene veličine:

- promjer glavnog vretena kod prednjeg ležaja:  $D_A = 110 \text{ mm}$
- prepust prednjeg dijela glavnog vretena:  $a = 88 \text{ mm}$
- razmak između prednjeg i stražnjeg ležaja:  $b = 282 \text{ mm}$

Ostale veličine glavnog vretena:

- promjer središnjeg dijela glavnog vretena:  $D_b$

$$D_b = 0,9 \cdot D_A = 0,9 \cdot 110 = 99 \text{ mm}$$

- promjer glavnog vretena kod stražnjeg ležaja:  $D_B$

$$D_B \approx 0,9 \cdot D_b = 0,9 \cdot 99 = 89 \text{ mm}$$

- Odabrano  $D_B = 90 \text{ mm}$
- promjer provrta glavnog vretena:  $d$

$$d = (0,35 - 0,45) \cdot D_b = 0,4 \cdot 99 = 40 \text{ mm}$$

- promjer prednjeg dijela glavnog vretena:  $D_a$

$$D_a = 1,1 \cdot D_A = 1,1 \cdot 110 = 121 \text{ mm}$$

## 5.6. Izbor ležajeva glavnog vretena

Sile koje opterećuju glavno vreteno:

- rezultanta sila na remenici:  $F_R = 3972,45 \text{ N}$

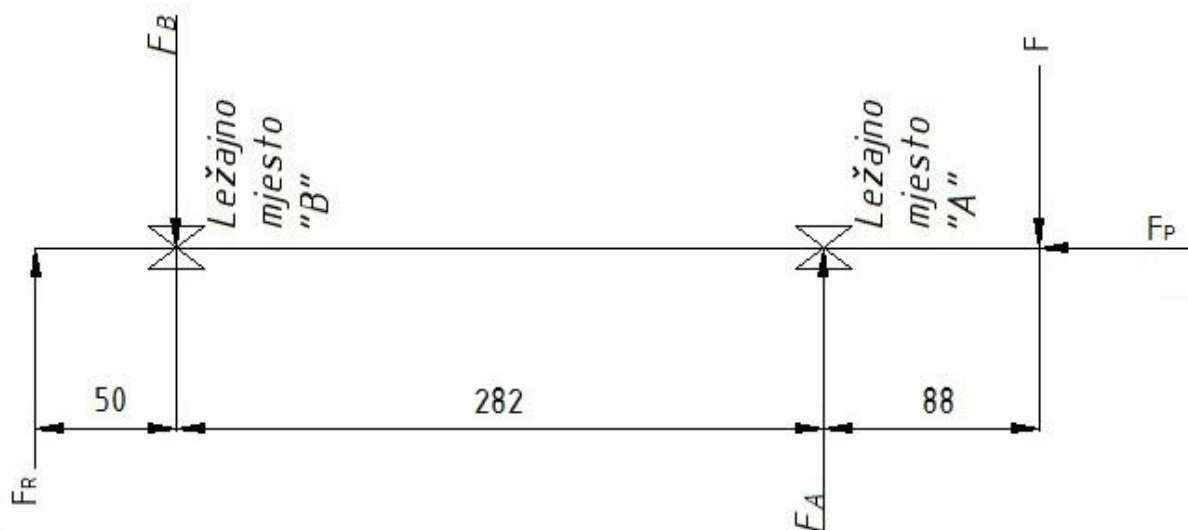
Rezultantna sila rezanja:

$$F_{csr} = 1,2 \cdot F_c = 1,2 \cdot 5335,7 = 6402,8 \text{ N}$$

$$F_f = 0,75 \cdot F_c = 0,75 \cdot 5335,7 = 4001,8 \text{ N}$$

$$F = \sqrt{F_{csr}^2 + F_f^2} = \sqrt{6402,84^2 + 4001,78^2} = 7550,5 \text{ N}$$

$$F_p = 0,4 \cdot F_c = 0,4 \cdot 5335,7 = 2134,3 \text{ N}$$



Slika 17. Raspored sila na vratilu

$$\sum M_B = 0$$

$$-F_R \cdot 50 + F_A \cdot 282 - F \cdot 370 = 0$$

$$F_A \cdot 288 = F \cdot 370 + F_R \cdot 50$$

$$F_A = \frac{(2793685 + 198622,5)}{288}$$

$$F_A = 10389,9 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_R - F_B + F_A - F = 0$$

$$F_B = F_R - F + F_A$$

$$F_B = 3972,45 - 7550,5 + 10389,9 = 6811,85 \text{ N}$$

### 5.6.1. Izbor ležaja u osloncu A

Ležajno mjesto u osloncu A na glavnom vretenu nalazi se odmah iza glave glavnog vretena, te se može nazvati prednji ležaj. Prednji ležaj mora biti izveden čvrsto i mora preuzeti aksijalnu i radijalnu komponentu opterećenja.

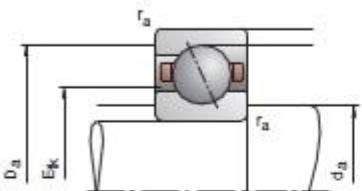
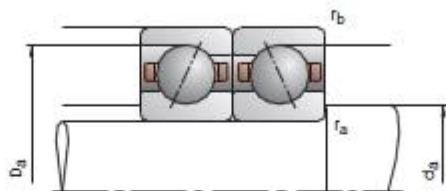
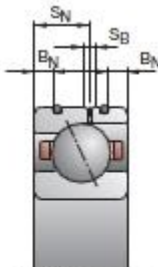
- radialna sila:  $F_r = F_A = 10389,9 \text{ N}$
- aksijalna sila:  $F_a = F_p = 2134,3 \text{ N}$
- promjer rukavca prednjeg ležaja glavnog vretena:  $d_A = 110 \text{ mm}$

Odabir ležajeva vršit će se prema FAG katalogu valjnih ležajeva. Odabrat će se kuglični ležajevi za glavna vretena sa kosim dodirom.

S obzirom na promjer rukavca  $d_A = 110 \text{ mm}$ , i učestalost vrtnje  $n_{\max}$  odabire se kuglični ležaj oznake B7222-C-T-P4S.

Tablica 12. Značajke ležaja A (FAG katalog) [15]

## FAG Spindle Bearings

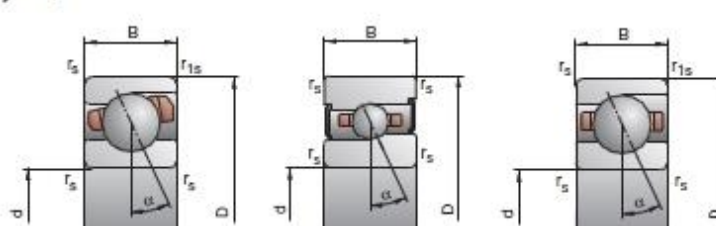
Bearing code	Dimensions						Abutment dimensions				DLR dimensions			Load rating	
	d	D	B	r <sub>amin</sub>	r <sub>1amin</sub>	d <sub>a</sub> h12	D <sub>a</sub> H12	r <sub>a</sub> max	r <sub>b</sub> max	B <sub>N</sub>	S <sub>N</sub>	S <sub>B</sub>	E <sub>k</sub> nom.	C <sub>dyn</sub>	C <sub>0stat</sub>
<b>FAG</b>	<b>mm</b>														
HC7022-C-T-P4S	110	170	28	2,00		121	159	2,0	1,0	6,0	16,2	2,2	135,4	34,50	41,50
HC7022-E-T-P4S	110	170	28	2,00		121	159	2,0	1,0	6,0	16,2	2,2	135,4	32,50	39,00
XC7022-C-T-P4S	110	170	28	2,00		121	159	2,0	1,0	6,0	16,2	2,2	135,4	76,50	41,50
XC7022-E-T-P4S	110	170	28	2,00		121	159	2,0	1,0	6,0	16,2	2,2	135,4	72,00	39,00
B7222-G-T-P4S	110	200	38	2,10	2,10	126,5	183,5	2,1	2,1				147,4	163,00	150,00
B7222-E-T-P4S	110	200	38	2,10	2,10	126,5	183,5	2,1	2,1				147,4	153,00	143,00
HCB7 222-G-T-P4S	110	200	38	2,10	2,10	126,5	183,5	2,1	2,1				147,4	112,00	104,00
HCB7 222-E-T-P4S	110	200	38	2,10	2,10	126,5	183,5	2,1	2,1				147,4	106,00	98,00



# B718..C/E, B719, B70, B72

## HS719..C/E, HS70

C: Contact angle  $\alpha = 15^\circ$   
E: Contact angle  $\alpha = 25^\circ$



Attainable speed**		Preloading force			Unloading force***			Axial rigidity***			Sealed design*	Weight	Bearing code
Grease	Oil	L	M	H	L	M	H	L	M	H			
min <sup>-1</sup>	minimal	N						N/μm			kg	FAG	
11 000	18 000	118	355	710	349	1 086	2 254	76,2	116,8	156,6	•	2,1	HC7022-C-T-P4S
9 500	15 000	192	575	1 150	555	1 681	3 409	195,2	287,3	370,4	•	2,1	HC7022-E-T-P4S
14 000	22 000	118	355	710	349	1 086	2 254	76,2	116,8	156,6	•	2,1	XC7022-C-T-P4S
12 000	19 000	192	575	1 150	555	1 681	3 409	195,2	287,3	370,4	•	2,1	XC7022-E-T-P4S
6 700	10 000	997	3 139	6 376	3 115	10 591	23 087	132,0	222,4	320,3	—	4,7	B7 222-C-T-P4S
6 000	9 000	1 525	4 939	10 131	4 487	15 015	31 793	311,0	486,8	654,6	—	4,7	B7 222-E-T-P4S
8 500	14 000	535	1 734	3 558	1 635	5 602	12 118	115,2	187,8	262,3	—	4,0	HCB72 22-C-T-P4S
7 000	11 000	789	2 705	5 648	2 322	8 137	17 383	278,5	435,7	578,9	—	4,0	HCB72 22-E-T-P4S

Prema tablici 12. vrijednosti nosivosti ležaja su:

- statička nosivost ležaja iznosi  $C_0 = 150 \text{ kN}$ ,
- dinamička nosivost ležaja iznosi  $C = 163 \text{ kN}$ ,
- kontaktni kut  $\alpha = 15^\circ$
- brzine su definirane ovisno o vrsti podmazivanja, za ulje  $n = 10000 \text{ min}^{-1}$ .

Ekvivalentno opterećenje ležaja za kuglični ležaj s kosim dodirom prema FAG katalogu:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{2134,3}{10389,9} = 0,205 > 1,09$$

$$P = 0,5 \cdot F_r + 0,46 \cdot F_a = 0,5 \cdot 10389,9 + 0,46 \cdot 2134,3 = 6,18 \text{ kN}$$

$$C = \frac{f_L}{f_n} \cdot P = \frac{3,42}{0,048} \cdot 6,18 = 440,33 \text{ kN}$$

- gdje je:

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[3]{\frac{20000}{500}} = 3,42$$

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33,33}{n \cdot 60}} = \sqrt[3]{\frac{33,33}{5000 \cdot 60}} = 0,048$$

U osloncu ležaja A izabiremo dva kuglična ležaja s kosim dodirom radi dodatne krutosti pa je:

$$C_i = i^{0,7} \cdot C_{pojednog} = 2^{0,7} \cdot 440,33 = 715,32 \text{ kN}$$

$$C_2 = 715,32 \text{ kN} > C_d = 163 \text{ kN}$$

$$f_s = \frac{C_0}{P} = \frac{150}{6,18} = 24,3 > 8$$

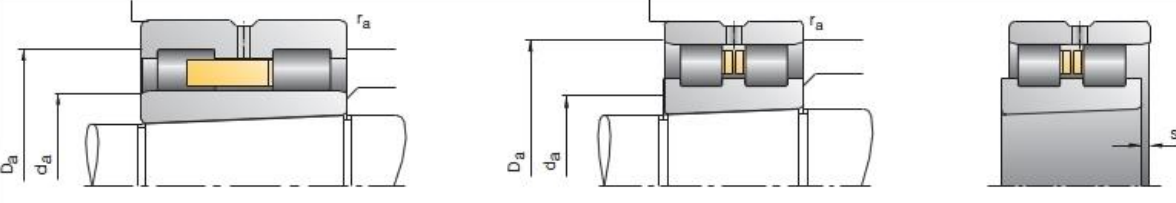
Ležaj zadovoljava!

### 5.6.2. Izbor ležaja u osloncu B

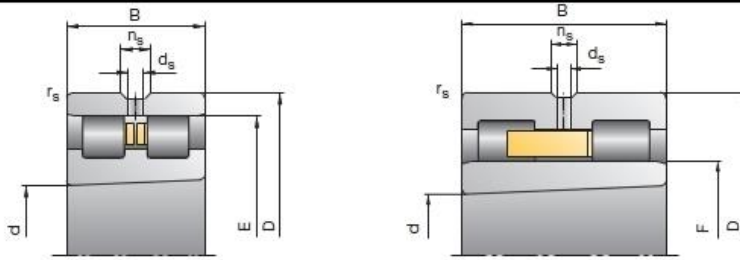
Ležajno mjesto u osloncu B je slobodno, te kao takvo može preuzeti samo radijalna opterećenja. Prema tome izbor valjnog ležaja za ležajno mjesto vrši se prema najvećoj radijalnoj reakciji  $F_B = 6811,85 \text{ N}$  i prethodno odabranom promjeru rukavca  $d_B = 90 \text{ mm}$ .

Odabrani ležaj: NN3018-AS-K-M-SP

Tablica 13. Značajke ležaja B (FAG katalog) [15]



Bearing code	Dimensions									Abutment dimensions		
	d	D	B	$r_{smin}$	E	F	s	$n_s$	$d_s$	$d_a$ h12	$D_a$ H12	$r_a$ max
<b>FAG</b>	mm											
NNU4916-S-K-M-SP	80	110	30	1,0		90,0	1,8	4,8	3,2	89	102	1,0
NN3016-AS-K-M-SP	80	125	34	1,1	113,0		2,5	6,5	3,2	93	116	1,1
NNU4917-S-K-M-SP	85	120	35	1,1		96,5	2,0	4,8	3,2	96	111	1,1
NN3017-AS-K-M-SP	85	130	34	1,1	118,0		2,5	6,5	3,2	98	121	1,1
NNU4918-S-K-M-SP	90	125	35	1,1		101,5	2,0	4,8	3,2	101	116	1,1
<b>NN3018-AS-K-M-SP</b>	<b>90</b>	<b>140</b>	<b>37</b>	<b>1,5</b>	<b>127,0</b>		<b>2,6</b>	<b>6,5</b>	<b>3,2</b>	<b>105</b>	<b>130</b>	<b>1,5</b>

Load rating		Attainable speed		Radial rigidity	Weight	Bearing code
$C_{dyn}$	$C_{0stat}$	Grease	Oil minimal	$C_r$		
kN		$min^{-1}$		N/ $\mu m$	kg	<b>FAG</b>
66	122	6700	8000	1980	0,81	NNU4916-S-K-M-SP
120	186	6300	7500	1850	1,51	NN3016-AS-K-M-SP
90	166	6300	7500	2280	1,20	NNU4917-S-K-M-SP
125	200	6000	7000	1990	1,58	NN3017-AS-K-M-SP
93	176	6000	7000	2420	1,26	NNU4918-S-K-M-SP
<b>140</b>	<b>224</b>	<b>5600</b>	<b>6700</b>	<b>2020</b>	<b>2,05</b>	<b>NN3018-AS-K-M-SP</b>

Prema tablici 13. vrijednosti nosivosti ležaja su:

- statička nosivost ležaja iznosi  $C_0 = 224$  kN,
- dinamička nosivost ležaja iznosi  $C = 140$  kN,
- brzine su definirane ovisno o vrsti podmazivanja, za ulje  $n = 6700$   $min^{-1}$ .

Ekvivalentno opterećenje ležaja u osloncu B:

$$\frac{C}{P} = \frac{140000}{6811,85} = 20$$

$$P = F_r = F_B = 6811,85 \text{ N}$$

$$C_d = P \cdot \frac{C}{P} = 6811,85 \cdot 20 = 136,2 \text{ kN}$$

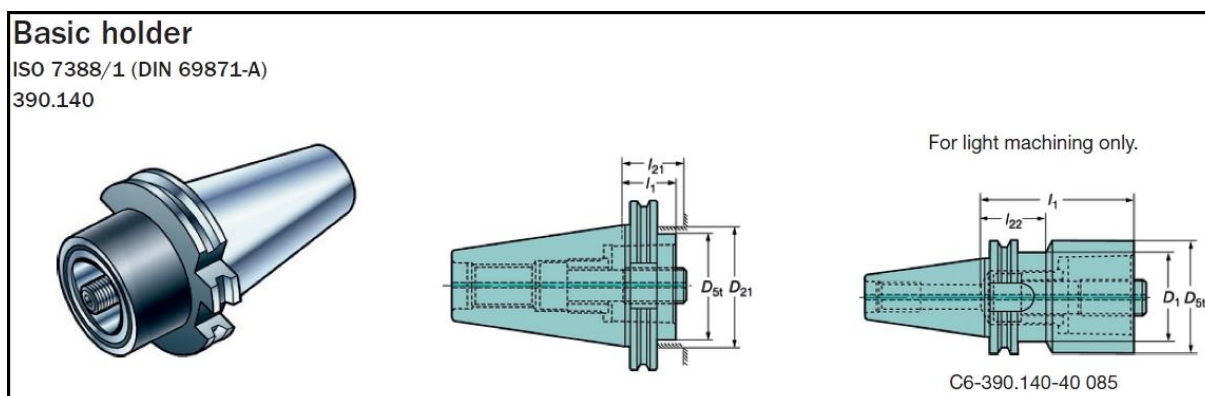
$$C > C_d$$

$$140 \text{ kN} > 136,2 \text{ kN}$$

Ležaj zadovoljava!

### 5.7. Izbor držača reznog alata

Kako bi se mogle definirati unutarnje dimenzije glavnog vretena potrebno je odabrati držač reznog alata prema kojem se dimenzionira prednji unutarnji dio glave glavnog vretena. Kako je prethodno bilo odabrano glodalo CoroMill 390, prema njemu će se vršiti odabir držača reznog alata. Prema dimenzijama glodala odabrat će se osnovni držač alata ISO 7388/1 (DIN 69871-A) oznake ISO 40 C4 istog proizvođača kao i glodalo, SANDVIK COROMANT, model CAPTO, prikazan na slici 18.

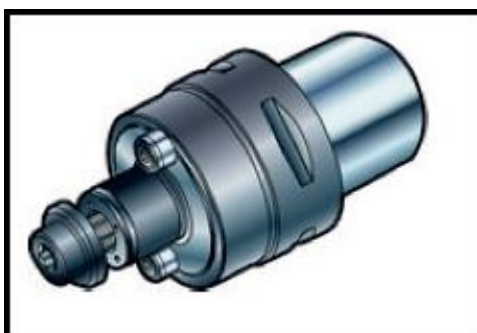


Slika 18. Držač alata ISO Coromant Capto Basic [16]

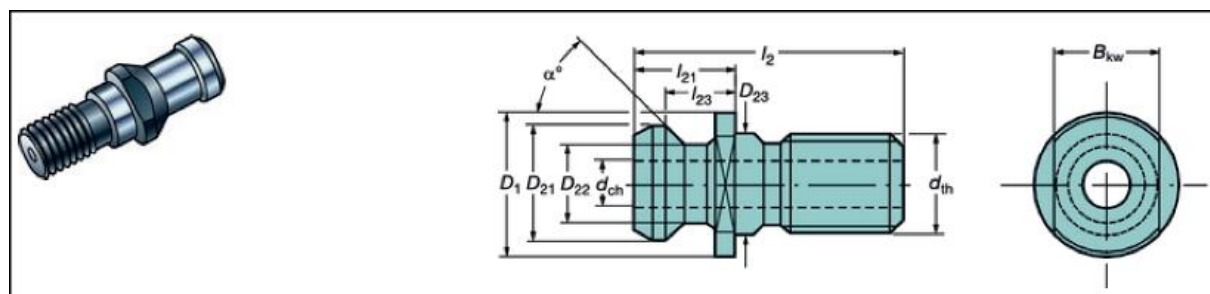
Tablica 14. Dimenzije držača alata [16]

Taper	Coupling size	Ordering code	Coolant <sup>1)</sup>	Dimensions							$\frac{D_{21}}{D_1}$	Balanced by design
				$D_{5t}$	$D_1$	$D_{21 \text{ max}}$	$l_1$	$l_{21 \text{ min}}$	$l_{22}$	$D_{th}$		
30	C3	C3-390.140-30 030	1	32		45	30	35		12	0.5	
30		C3-390.140-30 060	1	32		45	60	35		12	0.7	
40		C3-390.140-40 030	1	32		50	30	35		16	0.8	⊙
40		C3-390.140-40 060	1	32		50	60	35		16	1.2	⊙
50		C3-390.140-50 030	1	32		80	30	35		24	2.6	
50	C4	C3-390.140-50 060	1	32		80	60	35		24	2.8	
40		C4-390.140-40 030	1	40		50	30	35		16	0.8	⊙
40		C4-390.140-40 060	1	40		50	60	35		16	1.2	⊙
50		C4-390.140-50 030	1	40		80	30	35		24	2.6	
50		C4-390.140-50 060	1	40		80	60	35		24	2.8	
40	C5	C5-390.140-40 030	1	50		50	30	35		16	0.8	⊙
40		C5-390.140-40 070	1	50		50	70	35		16	1.2	⊙
50		C5-390.140-50 030	1	50		80	30	35		24	2.6	
50		C5-390.140-50 070	1	50		80	70	35		24	2.8	
40	C6	C6-390.140-40 085	1	63	50		85		35	16	2.3	
50		C6-390.140-50 030	1	63		80	30	35		24	2.6	
50		C6-390.140-50 080	1	63		80	80	35		24	3.7	
50	C8	C8-390.140-50 070	1	80		80	70	35		24	3.9	
50		C8-390.140-50 120	1	80		80	120	35		24	5.5	
60	C10	C10-390.140-60 050	1	100		130	50	38		30	9.2	

Montaža glodaće glave na držač vrši se preko adaptera sukladno prihvati glave i držača. Na slici 19. prikazan je adapter glodaće glave. Također, odabire se vijak prikazan na slici 20. koji se montira na držač alata a služi kao prihvat na koji dolazi sustav za stezanje.



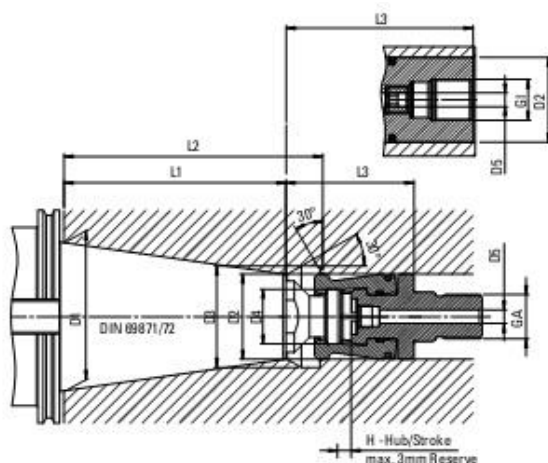
Slika 19. Adapter za glodalo [16]



Slika 20. Vijak za držač alata [16]

## 5.8. Sustav za stezanje alata

Sustav za stezanje osigurava dobro nalijevanje držača alata na glavu vretena, te omogućuje brze promjene alata, ukoliko je potrebno. Osnovna podjela je ovisno od standarda držača alata. Potrebno je odabrati sustav za ISO 7388/1. Sustav za stezanje određuje unutarnje dimenzije zadnjeg dijela glavnog vretena.



Slika 21. Sustav za stezanje alata

## 6. ZAKLJUČAK

Vertikalni obradni centri pružaju veću stabilnost obrade od horizontalnih kod slučaja kada je obradak postavljen horizontalno na stolu stroja, te je moguće obrađivati veće i teže obratke. Također, kod vertikalne pozicije glavnog vretena moguće je koristiti duže i teže alate. Ovisno o materijalu i parametrima obrade potrebno je odabrati glodaču glavu s kojom se mogu izvesti potrebne operacije u smislu zadovoljavanja zahtjeva na obradak.

Usporedbom dvaju različitih glodala, jednog s okruglom reznom pločicom te drugog s pločicom kuta zahvata od  $90^\circ$ , proračunate su veličine sila rezanja te potrebna snaga i moment rezanja. Ustanovljeno je kako izborom pločica s različitim karakteristikama kuta zahvata možemo uvelike utjecati kako na sile rezanja tako i na potrebnu snagu i moment. Dobivanjem ovih veličina utječemo na izbor elektromotora te na izbor elemenata glavnog prigona alatnog stroja (dimenzije remena i remenica, dimenzije glavnog vretena s pripadajućim ležajevima i prihvatnog dijela alatnog stroja).

Proračunavanjem potrebnih sila za daljnji tijek proračuna je izabran alat s potrebnim većim momentom rezanja kako bi izabranim elektromotorom i glavnim prigonom mogli vršiti obradu kako sa pripadajućim alatom tako i s drugim alatom.

Pravilnim izborom elektromotora i elemenata glavnog prigona uvelike možemo utjecati na mogućnosti obrade alatnog stroja.

Proračunatim elementima u ovom radu je prikazan često korišteni elektromehanički prigon alatnog stroja, no u današnje vrijeme je sve češća primjena motorvretena usprkos njihovoj visokoj cijeni, iz tog razloga što primjenom motorvretena imamo manji broj mehaničkih elemenata u glavnom prigonu, samim time i manje gubitaka i manje vibracija (veća kvaliteta i točnost). Motorvretenima je moguće postizati puno veće brzine pri obradi što je u današnje vrijeme jako bitno s obzirom na zahtjeve tržišta.

## 7. LITERATURA

- [1] dostupno na:  
[www.scribd.com/doc/75039335/CNC-alatne-masine](http://www.scribd.com/doc/75039335/CNC-alatne-masine), 01.10.2011.
- [2] Rinkovec, A.: Proračun glavnog prigona vertikalnog obradnog centra, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, 2012.
- [3] Škorić, S.: Autorska predavanja: Glodanje, Katedra za alatne strojeve, Sveučilište u Zagrebu
- [4] Tufekčić, DŽ.; Brdarević, S: Obrada rezanjem i alatne mašine, Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet u Zenici, 1995.
- [5] Agić, M.; Smajlović, A.; Ikanović, M.: Seminarski rad: Posluživanje obradnih sistema, Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet
- [6] Ciglar, D.: Autorska predavanja: Višenamjenski alatni strojevi, Katedra za alatne strojeve, Sveučilište u Zagrebu
- [7] dostupno na:  
[www.scribd.com/doc/57986455/16/SAVREMENE-RAČUNAROM-UPRAVLJANE-GLODALICE](http://www.scribd.com/doc/57986455/16/SAVREMENE-RAČUNAROM-UPRAVLJANE-GLODALICE), Numerički upravljane alatne mašine – CAM sistemi, 16.06.2011.
- [8] dostupno na:  
[www.docstoc.com/docs/114546685/Obradbeni-strojevi](http://www.docstoc.com/docs/114546685/Obradbeni-strojevi), 25.02.2012
- [9] Ciglar, D.: Autorska predavanja: Proračun glavnog prigona vertikalnog obradnog centra, Katedra za alatne strojeve, Sveučilište u Zagrebu
- [10] Sandvik Coromant, catalogue for rotating tools, 2012.
- [11] Sandvik Coromant Corokey, 2010.
- [12] dostupno na:  
[www.hunor.hr](http://www.hunor.hr), Automatizacija i modernizacija CNC alatnih strojeva
- [13] BRECOflex Zahnriemen, katalog zupčastih remena
- [14] Vučković, K.: Autorska predavanja: Elementi konstrukcija II A,B,C (Ležajevi, Remenski prijenos), Sveučilište u Zagrebu, 2013.
- [15] FAG catalogue, Super precision bearings, 2008.
- [16] Sandvik Coromant, catalogue for rotating tools, (držači i oprema), 2012.